VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

INSTITUT DOPRAVY

Návrh metodiky testování turbodmychadel zážehových motorů

Methodics for Engine Turbo-Fans Testing

Student: Libor Hrabal

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Richtář

Ostrava 2009

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Návrh metodiky testování turbodmychadel zážehových motorů

Methodics for Engine Turbo-Fans Testing

Student:	Libor Hrabal
Studijní obor:	2301R002 Dopravní technika
Pracoviště:	Institut dopravy - 342

Zásady pro zpracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problematiky
3. Požadavky na testování
4. Návrh metodiky
5. Zhodnocení
6. Závěr

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: min. 30 stran textu mimo přílohy

Cíl práce: Cílem práce je mapování řídící jednotky motoru pro testování turbodmychadel zážehových motorů.

Seznam doporučené literatury:

MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I.*, Alfa Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy II.*, Alfa Bratislava, 1994, ISBN 80-7100-074-4
FERENC, B. *Spalovací motory*, Computer Press, 2004, ISBN 80-251-0207-5

Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Michal Richtář
Datum zadání bakalářské práce:	24. září 2008
Datum odevzdání:	22. května 2009
Akademický rok:	2008/2009

L. S.

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
ředitel ID

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan FS

V Ostravě dne 23. září 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :…….. ……

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :…….

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HRABAL, L. Návrh metodiky testování turbodmychadel zážehových motorů. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 59s. Bakalářská práce, vedoucí Richtář, M.

Diplomová práce se zabývá metodikou tvorby map řídící jednotky přeplňovaného zážehového motoru. V úvodu je vysvětlena teorie řízení zážehového motoru odkazující se na ovládací software používaný při testování. Na základě požadavků na testovaní je navržen postup tvorby map jednotlivých regulačních obvodů řídícího systému zážehového motoru.Tento postup musí být přesně dodržen jednak pro správný chod motoru a jednak pro splnění požadavků testu. Navržená metodika je ověřená na několika případech na řešitelském pracovišti.

V příloze jsou pak prostorově zobrazeny tříosé mapy některých regulačních subsystémů řídící jednotky motoru, tak jak byly vytvořeny pro daný test.

KLÍČOVÁ SLOVA

Testování turbodmychadel, řízení zážehového motoru, mapování řídící jednotky, software System Monitor.

ANNOTATION OF BACHELOR'S THESIS

HRABAL, L. Methodics for Engine Turbo-Fans Testing. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 59 p. Thesis head: Richtař, M.

Thesis is dealing with methods creating maps of electronic control unit of turbocharged gasoline engine. The introduction are explained basics of control turbocharged gasoline engines with references to control software which is used to testing. On the basis of test requests approaches the Metod of creating control circuits electronic control unit. This Metod must be strictly accomplished. Otherwise will not be engine work properly and test request will not be satisfied. The designed Metod is verified for several tests at the test cells.

There are 3D maps of some electronic control unit subsystems in the supplement of bachelor's thesis. The 3D maps showed solution of mapping.

KEYWORDS

Turbochargers testing, gasoline engine controlling, mapping of electronic control unit, System Monitor software.

Seznam použitého značení

CAN-Bus	Datová sběrnice – Controller Area Network.
CO_2	Oxid uhličitý.
bar	jednotka tlaku 1 bar = 0,1 MPa .
ECU	Electronic control unit – řídící jednotka.
EGR	Recirkulace spalin zpět do sání motoru.
FEA	Analýza metodou konečných prvků.
HC	Nespálené uhlovodíky.
λ	Vzdušný součinitel [1].
M_e	Točivý moment motoru [Nm].
NO_x	Oxid dusíku
OČ	Oktanové číslo [1].
OEM	Original Equipment Manufacturer – původní vybavení z výroby
P_a	Atmosférický tlak [mbar]
PIT	Poměr tlaků na vstupu a výstupu turbínové části turbodmychadla.
Pstab	Stabilní podtlak nebo přetlak získaný externím zdrojem [mbar].
P1E	Tlak za mezichladičem stlačeného vzduchu [mbar].
P1Ereq	Požadovaný tlak P1E [mbar].
P1T	Tlak před vstupem do skříně turbíny [mbar].
P2C	Tlak na výstupu z kompresoru [mbar].
PWG	Řídící tlak pro aktuátor regulace WG [mbar].
PWM	Pulse Width Modulation – šířkou pulsu modulovaný signál.
RAM	Random Access Memory – paměť s přímým výběrem, přepisovatelná paměť
SM	System monitor – řídící software.
SW	Software – programové vybavení.
T1E	Teplota vzduchu na vstupu do válce motoru za mezichladičem stlačeného vzduchu [°C].
T1T	Teplota výfukových plynů na vstupu do turbínové části turbodmychadla [°C].
T1Treq	Požadovaná hodnota T1T [°C].
T2T	Teplota výfukových plynů na výstupu z turbínové části turbodmychadla [°C].
VGT	Variable geometry turbine – variabilní geometrie turbínové části.
VNT	Variable nozzle turbine – regulace plnícího tlaku natáčením lopatek statoru.
WG	Waste gate – regulace plnícího tlaku obtokem.

1 Úvod

V letech 1909 – 1912 byl vyvinut první přeplňovaný motor. Během let vývoje úpravy konstrukce turbodmychadel směřují ke zvyšování kroutícího momentu motoru a zlepšování jeho průběhu. Jedním z nejdůležitějších požadavků je také odpovídající životnost turbodmychadel. Po zavedení emisních limitů, které se neustále zpřísňují, se musí konstruktéři zabývat i tímto požadavkem.

Fenoménem poslední doby je honba za snížením CO_2 . To se týká téměř všech průmyslových odvětví , která určitým způsobem CO_2 produkují, tedy i spalovacích motorů. CO_2 je produktem dokonalého spalování a množství v $g.km^{-1}$ je ekvivalentem pro spotřebu paliva.

Jestliže neberu v úvahu hybridní pohony, pohony na vodík a jiné čistě ekologické pohony, pak se jako vhodný prostředek ke snížení spotřeby paliva automobilů (snížení objemu CO_2 a zvýšení litrového výkonu) jeví tzv. downsizing (přeplňované maloobjemové benzinové spalovací motory). Tyto moderní benzínové spalovací motory kombinují vysoký výkon a nízké emise CO_2. Downsizing a přímé vstřikování paliva do spalovacího prostoru prezentuje budoucnost benzinových motorů. Přímým vstřikováním paliva do válce dochází k vnitřnímu chlazení. Z toho vyplývá zvýšená odolnost proti klepání a možnost použít vyššího plnícího tlaku (přes 2 bary). Na druhou stranu u těchto motorů je teplota výfukových plynů před turbodmychadlem přes 1050 °C, což zvyšuje požadavek na kvalitu požitých materiálů, aby byla zajištěna odpovídající životnost zejména dílů turbínové části.

Výhody přeplňovaných motorů zůstanou v budoucnosti zachovány a vylepšovány. Mezi ně patří:

a) Přeplňované motory odevzdávají až o 90 % větší výkon než atmosférické motory. A jsou mnohem méně citlivé na změny atmosférického tlaku (nadmořské výšky) a s ním spojený úbytek výkonu spalovacího motoru. Atmosférické motory ztrácí 10% z výkonu motoru každých 1000 metrů přibývající nadmořské výšky.
b) Přeplňované motory mají i přes vyšší výkon podobnou nebo menší spotřebu než atmosférické motory.
c) Přeplňované motory produkují o 50 % méně emisí NO_x a CO_2 než běžné motory.

d) Turbodmychadlo funguje i jako tlumič sání čímž se snižují celkové emise hluku vozidla.

Turbodmychadlo je poměrně složitý konstrukční celek (zejména v kombinaci s VGT mechanismem) a k tomu je namáháno nejen mechanickým, ale hlavně tepelným zatížením. Z toho pramení nejrůznější závady turbodmychadel, jejichž příčinou jsou zejména teplotní šoky mnohdy způsobené nevhodným přístupem ze strany uživatele.

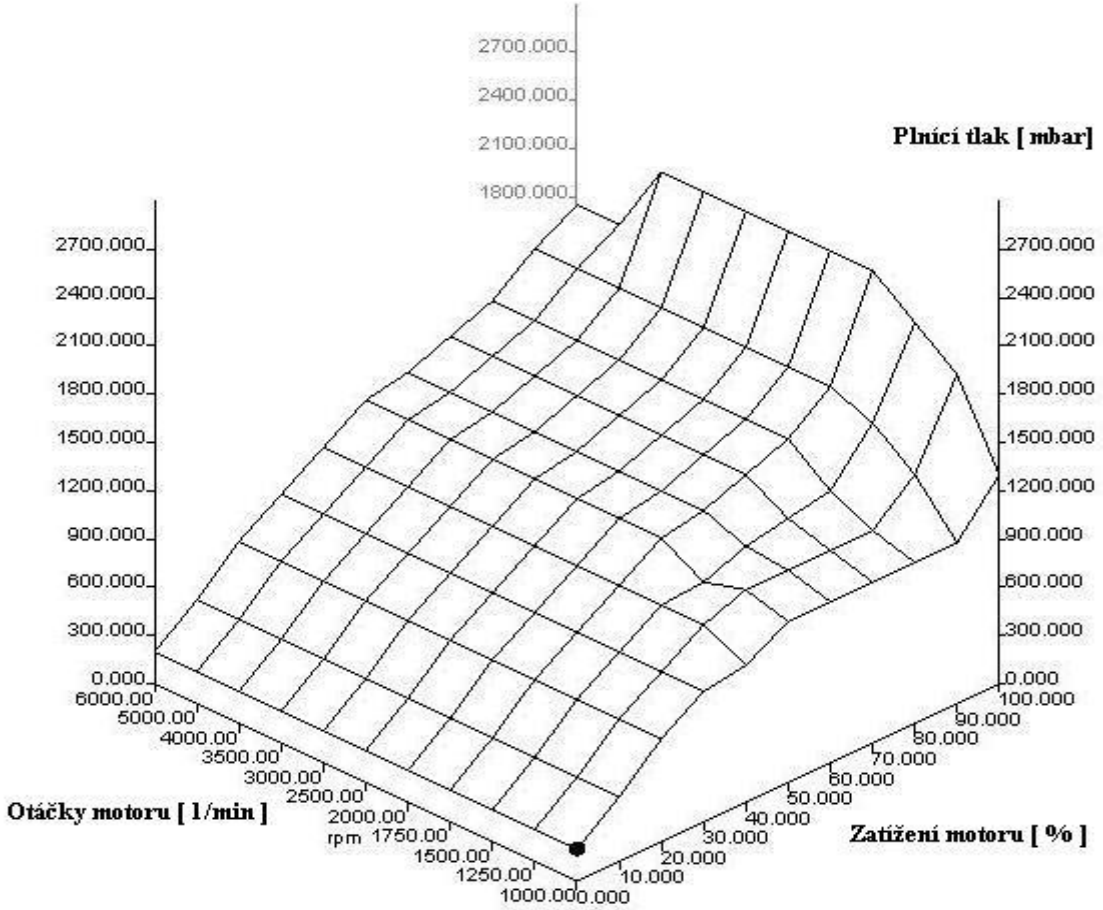
I přesto výhody přeplňování motorů turbodmychadlem převažují nad jejich nevýhodami a během několika příštích let stoupne významně podíl vozidel vybavených motorem přeplňovaným buďto: pouze turbodmychadlem, turbodmychadlem spolu s mechanickým přeplňováním nebo dvěma turbodmychadly zapojenými sériově, případně paralelně. Také Downsizing bude směřovat ještě k menším objemům válců. Od dnešních čtyřválcových motorů objemu 1.4 l až po dvouválce o objemu 0.4 l.
Pro dosažení požadované spolehlivosti a životnosti, je nutné zajistit vhodné konstrukční řešení a to následně v procesu testování prověřit. Testování turbodmychadel je velice široká oblast a skládá se z několika fází, které na sebe přímo navazují nebo se vzájemně doplňují. Turbodmychadla se testují jak na zkušebních stavech tak přímo na vozidlech v běžném silničním provozu. Testy na vozidlech se zaměřují na hlučnost a vibrace v kabině vozidla a tvoří menší část procesu. Nejdůležitější část tvoří testování na zkušebních stavech, z nichž jsou to zejména:

- plynové stanice (gas stand), pohon turbodmychadel je zajištěn od plynového hořáku . Provádějí se zde testy při velmi vysokých teplotách zaměřené na životnost a dlouhodobé testy. Také se na gas standech získávají charakteristiky (mapy) turbínové a kompresorové části.
- vibrační stanice (shakery) zkoumá se zde odolnost proti vibracím v různých frekvencí
- motorové stanice (engine celly). Zde se simuluje provoz přímo na reálných motorech, které jsou brzděny motorovou brzdou neboli dynamometrem.

Na motorových stanicích se provádí testy jak na vznětových tak i zážehových motorech. Při testech není možné používat sériové řídící jednotky motoru a to z důvodu provozních požadavků. Pro tento účel se na zážehových motorech používá řídící jednotka od firmy McLaren určená pro závodní vozidla. Cílem této práce je vytvořit metodiku pro tvorbu map závodní řídící jednotky McLaren, tak aby byly splněny provozní stavy jednotlivých

veličin během dílčích částí testovacího cyklu. Provozní požadavky regulovatelné namapováním řídící jednotky jsou uvedeny v instrukcích testu.

V této práci jsou často použity pojmy 3D mapa, popř. jen mapa a také výraz mapování. Pod pojmem 3D mapa rozumíme prostorově zobrazenou závislost tří veličin, např. závislost úhlu předstihu zážehu na otáčkách a zatížení motoru nebo závislost hodnoty směšovacího poměru na zatížení a otáčkách motoru apod. Hodnoty otáček a zatížení motoru jsou většinou zobrazeny jako osa X a osa Y a hodnota, kterou upravujeme (hovoříme o mapování) zpravidla na ose Z. Pod pojmem mapování tedy rozumíme úpravu jedné veličiny (zpravidla se jedná o: dobu vstřiku paliva, odpojení vstřiku paliva, úhel předstihu zážehu, dobu sepnutí primárního obvodu zapalování, signál pro ovládací ventil regulace plnícího tlaku turbodmychadla atd.) z 3D mapy (grafu) a tím dosažení změny charakteristiky (tvaru) 3D mapy.



Obr. 1.1 Závislost plnícího tlaku v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Zobrazeno ve 3D grafu (mapě).

2 Teoretický rozbor problematiky řízení zážehového motoru

Řízení a regulace zážehového motoru je komplex složený z několika systémů, které se navzájem doplňují. Požadavkem na výsledek jejich spolupráce je , aby sériově vyráběný motor podával odpovídající výkon a zejména produkoval minimální emise. V průběhu testování nelze emisní hodnoty regulovat (z velké části test probíhá ve vysokém zatížení), a proto se v práci zabývám jen systémy, které jsou na testovacím zážehovém motoru využívány pro řízení a regulaci jeho chodu.

Řízení je proces při, kterém se veličiny na výstupu ovlivňují veličinami na vstupu. Řídící obvod je bez zpětné vazby.

Regulace je proces, při kterém se veličiny na výstupu sledují a porovnávají s veličinami na vstupu. Tj. regulace má zpětnou vazbu, aby hodnota výstupní veličiny byla co neblíže hodnotě vstupní veličiny.

2.1 Systém vstřikování benzínu

Úkolem vstřikovacího systému je dopravit do válců palivo a spolu s nasávajícím vzduchem vytvořit směs požadované kvality. Ideální směšovací poměr, nazývaný stechiometrický, odpovídá 14,7 kg vzduchu ku 1 kg paliva. Během provozu vozidla se skutečný směšovací poměr podle požadavků více či méně liší. Nejnižší měrné spotřeby paliva se dosahuje při 15 – 18 kg vzduchu na 1 kg paliva.

Vozidlové motory jsou konstruovány tak, aby při částečném zatížení, ve kterém jsou nejčastěji provozovány dosahovaly nejnižší měrné spotřeby. Skutečná směs pak má chudé nebo ideální složení. Při testování jsou motory zatěžovány dle požadavku na test. Jsou tedy provozovány zejména ve vyšších až v maximálních zatíženích. Těmto stavům odpovídá odklon od stechiometrického poměru směrem do oblastí nižší hmotnosti vzduchu jak 14,7 kg na 1 kg paliva. Tj. do oblasti bohaté směsi.

Aby byl zohledněn rozdíl skutečného směšovacího poměru od ideálního, byl zaveden pojem součinitel přebytku vzduchu, někdy také nazývaný vzdušný součinitel. Označuje se

písmenem λ. A vyjadřuje poměr skutečně přivedené hmotnosti vzduchu k hmotnosti vzduchu potřebné k stechiometrickému spalování.

Vzdušný součinitel může nabývat následujících oblastí:

λ = 1 Skutečná hmotnost přivedeného vzduchu odpovídá teoretické hmotnosti vzduchu potřebné ke spálení přivedeného paliva. Je to jedna z podmínek k dosažení vyrovnaného chodu motoru při volnoběžných otáčkách.

λ < 1 Oblast bohaté směsi. Skutečná hmotnost vzduchu je nižší než teoretická. Pokud λ nabývá hodnot v rozmezí 0,85 … 0,95, je zpravidla dosahováno maximálního kroutícího momentu motoru.

λ > 1 Oblast chudé směsi. Skutečná hmotnost přivedeného vzduchu je vyšší než teoreticky potřebná. Pokud λ nabývá hodnot v rozsahu 1,05 … 1,03 odpovídá to snížené spotřebě motoru a sníženému kroutícímu momentu motoru.

λ > 1,3 Směs od této hranice λ již není schopna zapálení, dochází k výpadkům zapalování a k nerovnoměrnému chodu motoru. To vše platí pokud se nejedná o motor s přímým vstřikováním paliva do válce motoru pracující zrovna v oblasti chudé (vrstvené směsi). V takovém případě je u zapalovací svíčky vytvořená bohatá směs schopná zážehu a v ostatních oblastech spalovacího prostoru je směs velmi chudá nebo je zde téměř čistý vzduch.

λ = 0,9 … 1,1 Tento rozsah λ odpovídá běžnému provozu.

λ = 0,99 … 1,01 Při dodržení tohoto rozsahu je dosahováno nejlepší účinnosti k odstranění třech škodlivých složek emisí (HC, CO, NO_x) v třícestném katalyzátoru. K udržení λ v tomto rozsahu je nutné přesně měřit hmotnost nasávaného vzduchu, přesně dávkovat palivo (pomocí regulace lambda) a vytvářet homogenní směs. [Vlk, 2006, s.7]

Řídící jednotka McLaren v součinnosti s řídícím programem System monitor integrují systém pro řízení tvorby směsi a okamžiku zážehu. Tento systém zajišťuje sekvenční (nezávislé na sobě) ovládání vstřikovacích ventilů a plně elektronického zapalování. V ECU sériového vozidla jsou vytvářeny řady charakteristických polí (map) pro ovládání jednotlivých systémů tak, aby byl dodržen kompromis mezi vypouštěnými emisemi, spotřebou paliva a výkonem motoru. ECU McLaren je primárně určena pro závodní a podobné účely, a proto neumožňuje zejména ovládání systémů ke snížení emisních hodnot, které sériová ECU využívá.

2.2 Systém zapalování směsi

Okamžik zapálení je závislý zejména na hodnotě otáček a zatížení motoru. Doba prohoření směsi při konstantním plnění a konstantním směšovacím poměru je konstantní, a proto se stoupajícími otáčkami musí dojít k dřívějšímu zapálení směsi a to i přesto, že se vzrůstajícími otáčkami se zvyšují turbulence ve válci motoru, které způsobují intenzivní promíchání paliva se vzduchem. Závislost na zatížení je ovlivněna ochuzením směsi zbývajícím množstvím zbytkových plynů při nízkém zatížení a menším naplnění válce.Toto způsobí zvýšení prodlevy hoření a nižší rychlost prohořívání směsi. Z toho důvodu musí být nastaven větší předstih zážehu. [Vlk, 2006, s.28]

Předstih zážehu udává poloha klikového hřídele před horní úvratí kompresního zdvihu příslušného válce v okamžiku zapálení směsi.

U elektronického zapalování jsou zohledněny i další vlivy pro regulaci úhlu předstihu zážehu.
Jsou to teplota nebo změna složení směsi palivo-vzduch. V případě testování se nepoužívá regulační obvod udržující chod motoru na hranici detonačního spalování. Snímač klepání je zapojen přes zesilovač akustického signálu do sluchátek. Samotná regulace klepání spočívá v nastavování hodnot předstihu zážehu v závislosti na zvukovém signálu slyšitelném ve sluchátcích.

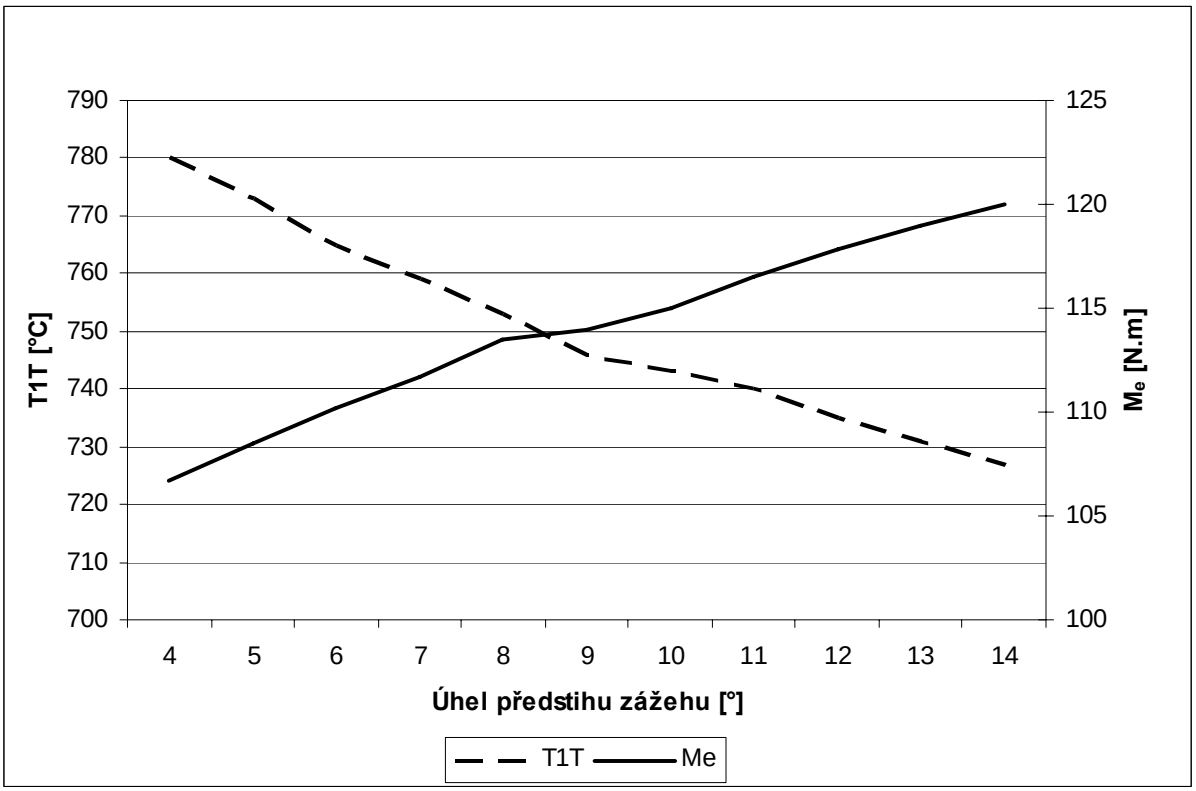
Vliv předstihu zážehu:
a) Na složení emisí:
- dřívějším zapálením směsi vzrůstají emise nespálených uhlovodíků (HC). Emise oxidů dusíku (NO_x) se zvětšují s dřívějším zapálením směsi v celém rozsahu poměru vzduchu a paliva, a to z důvodu vyšších teplot spalování při dřívějším zapálení.

b) Na spotřebu paliva
- s dřívějším zapálením směsi klesá spotřeba paliva a stoupá točivý moment motoru, ale jen při odpovídající změně složení směsi, protože s rostoucí hodnotou λ musí být pro vyrovnání nižší rychlosti spalování směs zapálena dříve

c)Na detonační hoření
- příliš velký předstih zážehu má za následek vznik tlakové vlny a v důsledku toho dodatečné (nežádoucí) vzplanutí směsi na různých místech spalovacího prostoru .

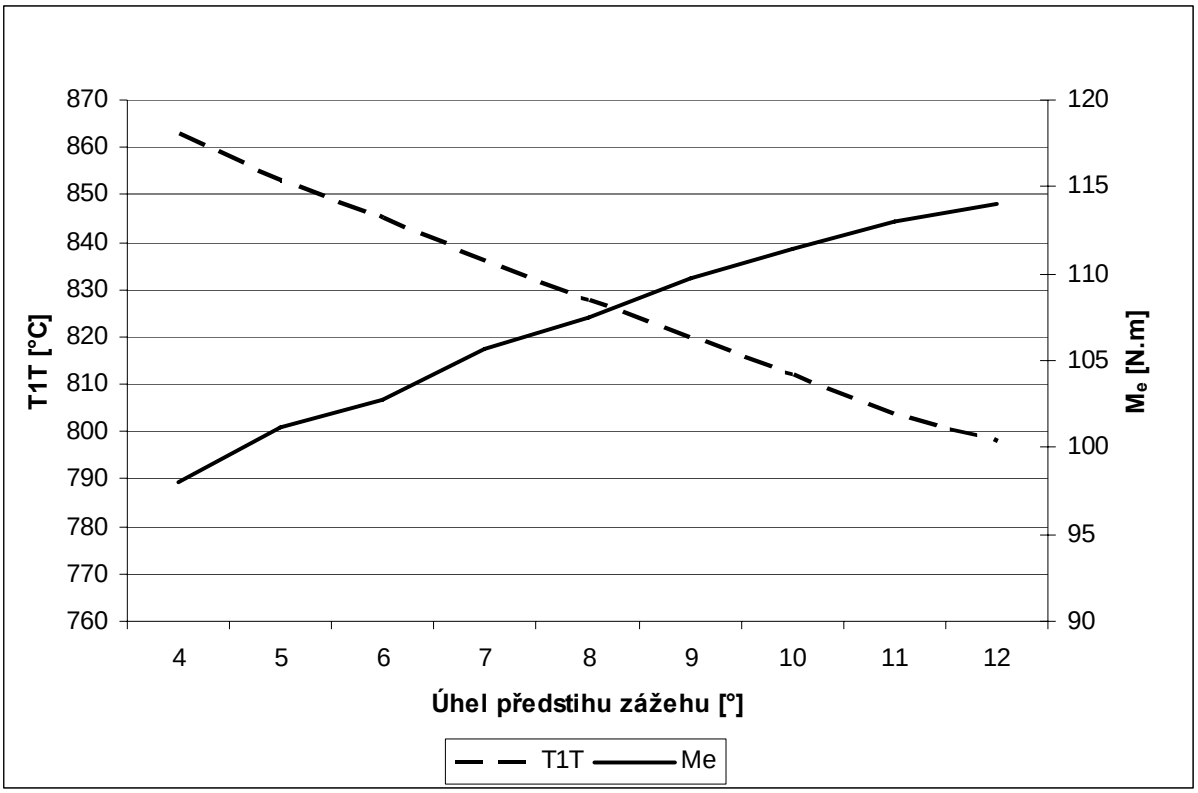
Hoření směsi je nerovnoměrné a doprovázené rychlým nárůstem tlaku a k jeho kolísání ve spalovacím prostoru. Tento jev se projevuje charakteristickým zvonivým zvukem. Při dosažení klepání je bezpodmínečné snížit hodnotu předstihu zážehu. Delší provoz motoru v oblastech klepání způsobí jeho destrukci. [Vlk, 2006, s.28]

Při testování se nastavuje předstih zážehu většinou vzhledem k požadavku na teplotu výfukových plynů. Obecně u hodnoty předstihu platí: menší hodnota předstihu zážehu se rovná vetší teplotě výfukových plynů. Při malém úhlu předstihu zážehu je samozřejmě menší tepelná a tím pádem i efektivní účinnost motoru. Zbytková část tepelné energie odejde ve formě tepla výfukovým potrubím. Naopak vetší úhel předstihu zážehu znamená vyšší využití tepelné energie a z toho vyplývající větší efektivní účinnosti.



Obr. 2.2.1 Závislost T1T a M_e na úhlu předstihu zážehu při 2000 min^{-1} a 70% zatížení motoru.

Na obr. 2.2.1 jsou znázorněny průběhy T1T a M_e v závislosti na úhlu předstihu zážehu při 2000 min^{-1} a 70% zatížení motoru. Obr.2.2.2 zobrazuje stejné veličiny, ale při provozu motoru ve 2500 min^{-1} a 70% zatížení motoru. Měření probíhala při atmosférickém tlaku P_a = 998 mbar a při teplotě okolí 18 °C, na zážehovém přeplňovaném motoru Renault 1,2 D4F.



Obr. 2.2.2 Závislost T1T a M_e na úhlu předstihu zážehu při 2500 min^{-1} a 70% zatížení motoru.

Legenda k obr. 2.2.1 a 2.2.2

T1T [°C] – teplota výfukových plynů před turbodmychadlem

M_e [N.m] – efektivní kroutící moment motoru

1 [°] – úhel předstihu zážehu před horní úvratí kompresního zdvihu příslušného válce

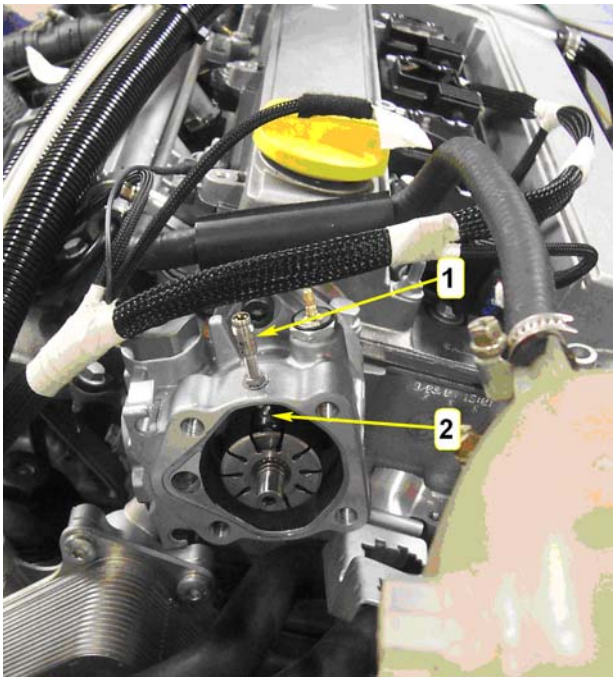
Před okamžikem zapálení směsi musí být zásobník (zapalovací cívka) dostatečně nabit. K tomu je potřeba zařídit odpovídající dobu sepnutí primárního obvodu zapalovací cívky.

2.3 Řízení zážehového motoru

Systém řízení zážehového motoru spojuje v jedné řídící jednotce řízení dávky paliva a řízení zážehu směsi. Jedná se tedy o sjednocení dvou dříve používaných samostatných jednotek do jediné.

Hlavním mostem je ECU motoru. Do ECU motoru vstupují informace o provozním stavu motoru, které ECU získává od snímačů a čidel daných veličin. Nejdůležitější provozní stavy, které ECU sleduje jsou:

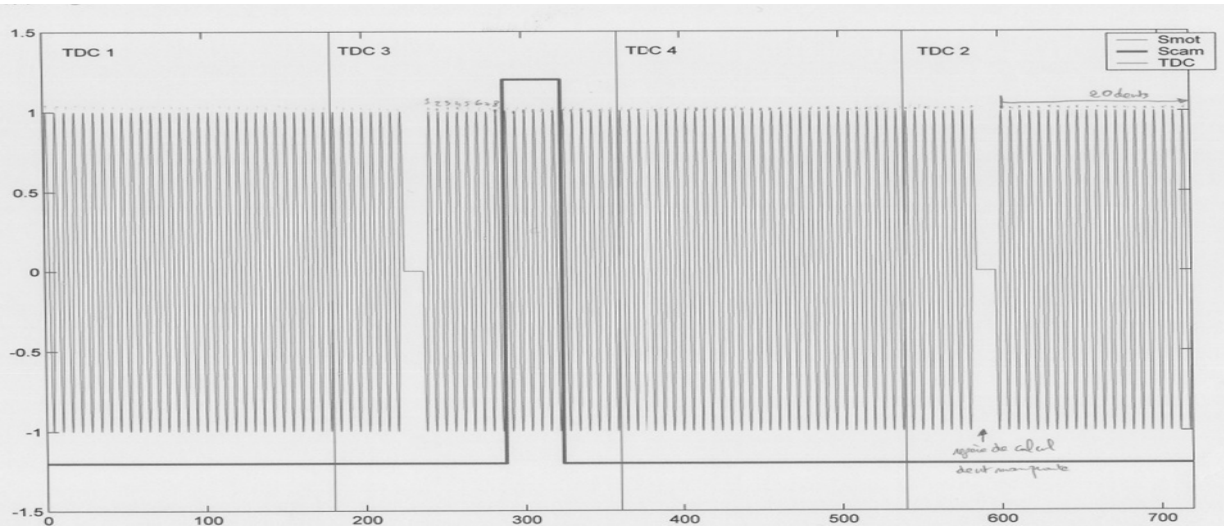
- zapalování (ECU kontroluje stav zapnuto, vypnuto)
- poloha vačkové hřídele. V případě, že se jedná o sekvenční systém (ovládaný nezávisle na sobě ve stejný okamžik a volně programovatelný) vstřikování a zapalování je potřeba informace, ve kterém pracovním cyklu motoru se nachází píst příslušného válce. Motory používané pro testování mají vždy sekvenční systém, a proto je nutné nastavit přesnou polohu snímače vačkového hřídele vůči snímači klikové hřídele. Některé motory nemají snímač polohy vačkové hřídele, a proto se zapojuje externí snímač vačkové hřídele.



Obr.1.3.1 zapojení snímače vačkového hřídele na motoru Saab 2.0 T.

1. Hallův snímač
2. Výstupek pro vytvoření změny magnetického pole

Obr. 1.3.1 zobrazuje externě namontovaný Hallův snímač polohy vačkového hřídele na motoru SAAB 2.0 Turbo. Šipka 1 ukazuje snímač a šipka 2 vytvořený výstupek pro změnu vzduchové mezery.Pro správný chod motoru musí být nastavena poloha vůči vačkovému hřídeli dle následujícího obrázku obr. 1.3.2. Ten znázorňuje vzájemnou polohu snímače klikového hřídele vůči snímači vačkového hřídele výše zmíněného motoru SAAB 2.0 Turbo.



Obr.1.3.2 Vzájemná poloha signálů snímačů vačkového a klikového hřídele motoru Saab 2.0 Turbo. Vzestupná hrana od Hallova snímače musí procházet tzv. skrz 9. zub na oběžném kole za zubovou mezerou po horní úvrati 3. válce.

Další provozní stavy, které ECU sleduje jsou:

- napětí akumulátoru, které ovlivňuje zejména úhel (dobu) sepnutí primárního obvodu zapalovací cívky. Jeho napětí nesmí poklesnout pod hodnotu, při které již nejsou schopny pracovat snímače a akční členy.
- teplota motoru
- teplota nasávaného vzduchu. V testovacích místnostech je udržována konstantní teplota ventilačním zařízením.
- úhel natočení škrtící klapky nebo poloha pedálu plynu
- sonda lambda
- snímač klepání – v případě testovacích motorů je to poslech klepání
- otáčky motoru

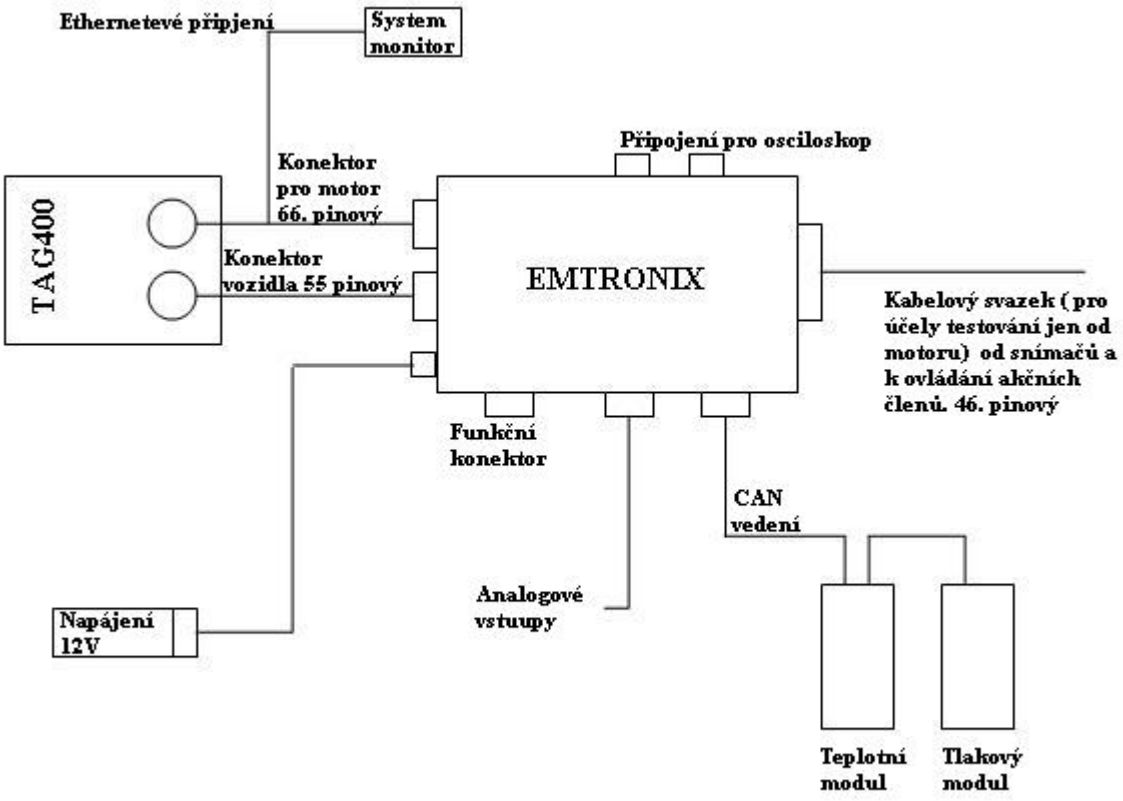
Vstupní obvody ECU upravují data mikroprocesor (např. převádějí analogové signály na digitální, které pak zesilují), ten zpracovává uvedená data, rozpoznává provozní stavy motoru vypočítává potřebné ovládací signály.

Vedle výše zmíněných základních a regulačních funkcí jsou v ECU obsaženy přídavné řídící a regulační funkce zejména pro snížení objemu emisí. Emise ani spotřeba paliva nehraje při testování roli. Ale například lambda regulace je také využívána. U sériově produkovaného vozidla je regulace lambda primárně určena pro udržení $\lambda = 1$ a tím dosáhnout snížení

objemu složek HC, CO, NO_x. V průběhu testování se lambda regulace také používá k regulaci směšovacího poměru, ale jedná se zejména o regulaci v oblastech bohaté směsi, jelikož jsou motory provozovány při zatíženích od 60 do 100 % a v rozmezí otáček motoru od 2500 do 6500 min^{-1}. Např. chodu motoru při 6500 min^{-1} a 100 % zatížení může obohacení směsi dosáhnout $\lambda = 1$. Lambda regulace lze také vyžívat k omezenému (jemnému) doladění teploty výfukových plynů.

Mezi další přídavné řídící a regulační funkce patří regulace klepání, regulace plnícího tlaku turbodmychadla (nejdůležitější regulace pro testování) a třeba také funkce omezení otáček motoru, která zabraňuje případnému poškození motoru.

2.3.1 Schéma řídícího systému a popis



Obr. 2.3.1.1 Schéma systému

Legenda k obr.2.3.1.1.

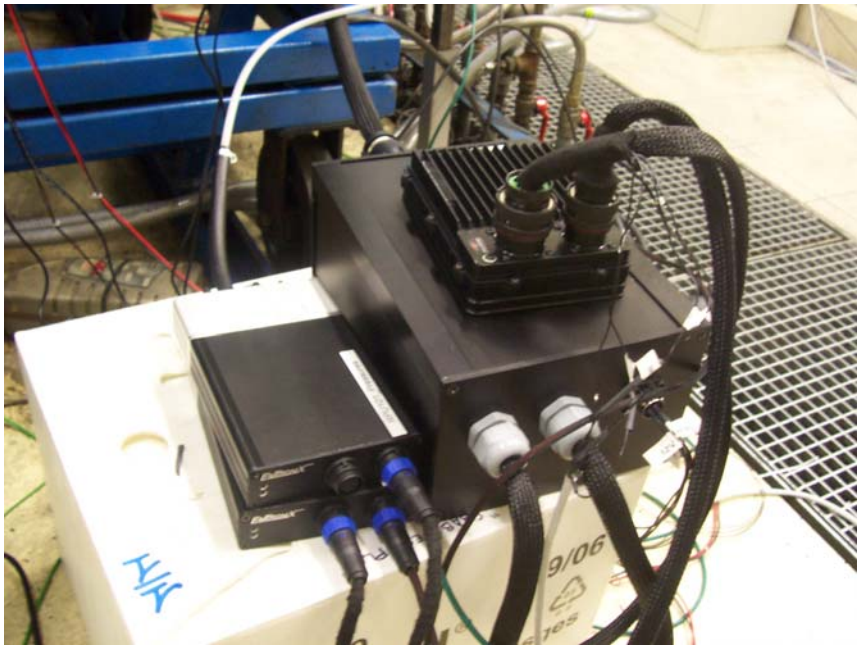
TAG-400 - řídící jednotka motoru od firmy McLaren, která je určena až pro osmiválcové zážehové motory. Je také vhodná pro řízení vysokootáčkových motocyklových motorů a přeplňovaných motorů. Obsahuje dva vícepinové konektory. Jeden 55. pinový a jeden 66. pinový.

Emtronix - je rozhraní spojitosti, sloužící ke spojení mezi System monitorem a ECU TAG-400.

Teplotní a tlakový modul – slouží k převádění hodnot tlaků a teplot na elektrické napětí. U obou modulů jsou kalibrační listy. Pro správnou funkci modulů musí být do System monitoru zadány údaje dle kalibračních listů. Díky CAN vedení mohou být zapojeny do série.

System monitor – software sloužící ke tvorbě map ECU a k vzájemné komunikaci pomocí ethernetového spojení mezi ECU a řídícím softwarem System monitor. Jejich propojení zabezpečuje rozhraní spojitosti od firmy Emtronix.

Napájení – napájení ECU od akumulátoru. Hodnota napětí musí být mezi 7,9 V a 16V.



Obr. 2.3.1.2 Komponenty systému mimo počítač, který slouží ke tvorbě map a komunikaci s ECU McLaren TAG-400.

2.3.2 Doba a množství vstřikovaného paliva

U přeplňovaných motorů je zatížení motoru zpravidla měřeno snímačem tlaku umístěným v sacím potrubí za škrtící klapkou motoru. Snímač tlaku je zde využíván jako snímač zatížení. U tohoto řešení oproti měření zatížení pomocí měřiče množství nasávaného vzduchu neexistuje žádný matematický vztah mezi tlakem v sacím potrubí a hmotností nasávaného vzduchu.

ECM dle daného algoritmu přepočítává hodnoty tlaku na zatížení motoru. Hodnotu zatížení také ovlivňuje poloha pedálu plynu a otáčky motoru.

2.3.2.1 Množství vstřikovaného paliva

Množství vstřikovaného paliva se vypočítá se základního vzorce jako hmotnostní tok paliva na jeden cyklus. [Cikryt,1999]

$$Mp = S \cdot \mu \cdot v \cdot \rho_p \cdot i \cdot t_i \qquad \text{[g/cyklus]} \qquad (2.3.2.1)$$

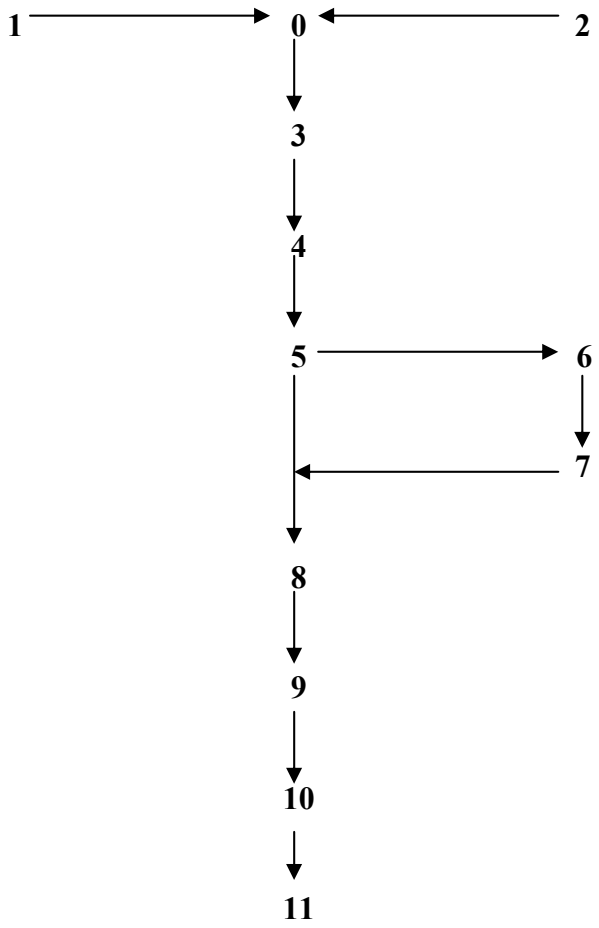
kde:

S – průtokový průřez vstřikovacího ventilu	[m^2]
μ – průtokový součinitel vstřikovacího ventilu	[1]
v – výstupní rychlost paliva ze vstřikovacího ventilu	[$m.s^{-1}$]
ρ_p – hustota paliva	[$g.m^{-3}$]
i – počet vstřiků za pracovní cyklus	[1]
t_i – doba vstřiku, kterou určuje řídící jednotka motoru	[s]

Všechny veličiny ve vzorci jsou až na dobu vstřiku konstantní. Výstupní rychlost paliva je určena přebytkem tlaku paliva vůči tlaku v sacím potrubí. Tento tlakový rozdíl je konstantní. Jediná možnost jak změnit tlak paliva je provést mechanický zásah do regulátoru tlaku paliva např. výměnou přítlačné pružiny, která působí na rozdělovací membránu.

2.3.2.2 Doba vstřiku paliva

Určení doby vstřiku paliva začíná u základní doby vstřiku, která je přímo vypočítávána z hodnoty zatížení a průtokového součinitele vstřikovacího ventilu. Základní výpočet probíhá na vzdušný součinitel $\lambda = 1$. To platí tak dlouho, dokud je diferenční tlak mezi tlakem paliva a tlakem v sacím potrubí konstantní. Pak je základní doba vstřiku přepočítávána vzhledem k jednotlivým korekcím, například od regulace lambda nebo od korekce zohledňující napětí akumulátoru. Výsledek po zahrnutí všech korekcí je konečná neboli efektivní doba vstřiku. Průběh výpočtu doby vstřiku popisuje následující strom.



Obr. 2.3.2.2.1 Schéma výpočtu doby vstřiku [Vlk, 2006, s.60]

1. Základní doba vstřiku z hodnoty zatížení a otáček motoru v System monitoru (SM) - tomuto odpovídá doba otevření vstřikovacího ventilu (vyjádřená v stupních otoční klikové hřídele) v závislosti zatížení na otáčkách motoru. Hodnota se vkládá do mapy s názvem **InjEndMap – carto phasage fin injection** .

2.Doba vstřiku při startu motoru.

V SM mapa **Injection_Injector_Injectots**. I přesto, že tuto hodnotu lze v SM nastavit, nevyužívá se. Startujeme přes aktivní dynamometr.

3. Korekce při zahřívání motoru.

Hodnota je závislá na teplotě chladící kapaliny. V SM mapa **TWaterCorrMap – Table coef enrich** . Nastavuje se prodloužení doby vstřiku v závislosti na teplotě chladící kapaliny. Určité teplotě chladící kapaliny odpovídá korekční koeficient obohacení směsi.

4. Korekce obohacení směsi od lambda regulace

V SM mapa **LambdaObjMap – Carto de lambda objectif**. Tato mapa představuje velikost vzdušného součinitele λ v závislosti na zatížení a otáčkách motoru. Hodnoty λ se upravují při testování zejména ve vyšších zatíženích motoru, a to do oblasti bohaté směsi, což koresponduje s požadavkem na výkon motoru respektive teplotou výfukových plynů.
V oblastech částečného a nízkého zatížení (odpovídá asi 10 – 30% celkové doby testu) je hodnota lambdy zpravidla rovna 1.

5. Decelerace, omezení otáček motoru.

V mapě **NCutOff – regime mini pour autoriser la couper** se nastavuje maximální hodnota otáček motoru. Po jejím překročení nastane odpojení vstřikovacích ventilů. Vstřikování také lze vypnout v mapě **CutOffMapMap.** Této možnosti se často využívá při některých testech, kde je požadavek na teplotní šoky (změny teploty v řádu několika sekund). Při odpojení vstřikování prochází motorem a samozřejmě i turbodmychadlem jen vzduch dochází tak k intenzivnímu vnitřnímu chlazení. Motor pak pracuje jako kompresor.

6. Vypnutí vstřiku a obnovení vstřiku **7.**

Decelerace má za následek odpojení dávky paliva a po opětovném sešlápnutí pedálu plynu jeho obnovení. Tomu odpovídá korekce vstřiku při jeho obnovení. V SM se tohle zohledňuje v mapě **CutOffMapMap.** Např. pokud chci vypnout dávku paliva v 3500 min^{-1} a v celém rozsahu zatížení motoru, označím odpovídající řádek v mapě samými 1. Korekci po obnovení vstřiku nebo-li přechodový stav, se aktivuje zasáním číslovek 2 do řádků před a za 3500 min^{-1} tj. do řádku pro 3250 min^{-1} a 3750 min^{-1} .

8. Pokud nenastane decelerace, pokračuje výpočet efektivní doby vstřiku přes přechodovou kompenzaci. Ta vyjadřuje korekci základní doby vstřiku v závislosti na rychlosti přechodového jevu. Rychlost jevu je zohledněna pomocí korekčního součinitele obohacení směsi. Zanáší se do mapy **InjInitRunningCorrX – InjlnitRunningCorrX default description**.

9.V dalším bodě je korekce vstřiku dle provozního stavu motoru.

10. Korekce dle napětí akumulátoru.

Zanáší se do mapy **TpsMort – Temps mort injecteurs.** Tato mapa vyjadřuje závislost doby sepnutí vstřikovacíhoventilu, respektive dobu otevření vstřikovacího ventilu na napětí akumulátoru. S klesajícím napětím je potřeba pro dopravení požadovaného množství paliva do válce prodloužit dobu vstřiku. Naopak při vyšších napětích v palubní síti je nutno snížit dobu sepnutí, aby nedošlo k přílišnému obohacení směsi.

11. Efektivní (konečná) doba vstřiku.

2.3.3 Úhel zážehu

V hlavní mapě pro řízení úhlu zážehu jsou zobrazeny základní úhly zážehu pro dané otáčky a zatížení motoru. Tento úhel zážehu je brán jako základ pro výpočet konečného úhlu zážehu po zahrnutí dílčích korekcí. Průběh výpočtu úhlu zážehu probíhá následujícím způsobem. [Vlk, 2006, s.63]

1. Základní úhel zážehu v závislosti na zatížení a otáčkách motoru. Název mapy je **Carto avance de base.**

2. Teplotní korekce .

3. Korekce po startu a při zahřívání motoru

Tak jako se provádí upravení doby vstřiku podle teploty motoru (resp. chladící kapaliny)a při zahřívání motoru. tak musí dojít k adekvátní změně úhlu zážehu. Hodnoty

součinitelů upravující tyto korekce vycházejí ze stejných map pro výpočet vstřiku i pro výpočet úhlu zážehu. Názvy map jsou uvedeny v postupu výpočtu doby vstřiku.

4. Decelerace

Pokud dojde k deceleraci, znamená to odpojení vstřikování i zapalování, protože zmizí prostředí vhodné k zapálení (motorem prochází jen samotný vzduch). Systém i přesto vypočítává úhel zážehu (veličina **FinalIgnReq** v informačním okně **MapSparkAdvance – Avance Carto**), aby po skončení decelerace mohlo dojít k okamžitému obnovení vstřikování a zapalovaní.

Při provozu sériově vyráběného vozidla dochází k vyřazení vstřikování z činnosti pouze pokud má motor určitou hodnotu otáček (běžně dochází k obnovení dávky paliva, pokud otáčky motoru poklesnou pod 1600 min^{-1}, v honbě za co nejnižší spotřebou a emisemi u nejmodernějších motorů až při 1000 min^{-1}) a uzavřenou škrtící klapku. K tomuto stavu dochází zejména při sjíždění svahů se zařazeným rychlostním stupněm a brzdění motorem. Tato situace se při některých testech simuluje, ale s tím rozdílem, že je možnost odpojit vstřik při různých otáčkách motoru a různých zatíženích motoru, resp. při různých polohách škrtící klapky.

5. Korekce úhlu zážehu v závislosti na provozním stavu motoru.

Podle informací od různých snímačů, které zaznamenávají provozní stav motoru, dochází ke korekci úhlu zážehu podobně jako ke korekci vstřikování dle provozního stavu motoru. Čím přesněji je zaznamenáván provozní stav motoru, tím přesněji lze dodržet nejvhodnější bod zápalu.

Mezi tyto korekce patří např. provoz při recirkulaci spalin (EGR zpětné vedení spalin, provoz při vhánění sekundárního vzduchu, částečný a plný výkon, volnoběh apod.) V případě sestupování jsou EGR systém i sytém sekundárního vzduchu odpojeny, protože emise se nesledují. Také režim volnoběh se nevyužívá a tak kromě korekcí částečného a plného výkonu motoru se provádějí korekce úhlu (doby) sepnutí primárního okruhu zapalování v závislosti na napětí akumulátoru resp. palubní síti. Mapa pro tuto korekci má název **DwellApp2Map – Dell from App2** a vynášejí se do ní hodnoty doby sepnutí v ms v závislosti napětí na otáčkách motoru. Změnou doby sepnutí lze odstranit sporadické

výpadky zapalování, za předpokladu že k výpadkům zapalování nedochází z důvodu závady v systému. Prostorové zobrazení je na obr. 7.4 v příloze.

6. Zásah do úhlu zážehu při regulaci klepání

Protože velikost předstihu zážehu souvisí mimo jiné se spotřebou paliva (čím nižší hodnota předstihu zážehu tím vyšší spotřeba paliva) je vhodné motor provozovat na hranici klepání. Tuto úlohu přebírá regulace klepání. Díky této regulaci je možné při provozu sériově vyráběných vozidel upravovat hodnotu předstihu zážehu dle kvality paliva, resp. odolnosti paliva proti detonačnímu hoření, stavu motoru a podmínkách okolí. Pak lze díky regulaci klepání udržovat chod motoru na hranici klepání (co nejvyšší předstih zážehu) a tím pádem spotřebu paliva na nejlepších hodnotách vzhledem k provoznímu stavu motoru a výše zmíněným podmínkám.

Klepání je snímáno pomocí snímačů klepání. Pokud se objeví klepání ECU dle naprogramovaného algoritmu, sníží hodnotu předstihu zážehu. Při testování se také využívá snímačů klepání, ale samotná regulace se provádí manuelně. Snímač klepání je napojen přes zesilovač, který zesiluje akustický signál do sluchátek, které slouží k jeho poslechu. Pracovník pak poslouchá chod motoru a při detekci klepání upraví hodnotu předstihu zážehu v základní mapě **Carto avance de base**. Zde velice záleží na zkušenosti pracovníka, aby rozpoznal, kdy začíná docházet k občasnému zaklepání (charakteristický vysoký zvonivý tón). Při zobrazení tohoto signálu na osciloskopu se zaklepání projeví skokovým nárůstem napětí.

V případě testování se provádí mapování předstihu zážehu na hranici klepání před každým Perfo testem (měření vnějších rychlostních charakteristik motoru). Hodnota předstihu zážehu se pak zvyšuje až do chvíle, kdy je slyšet občasné zaklepání. Poté je nutné hodnotu snížit (zpravidla o půl stupně) na hodnotu, kdy ke klepání nedochází. S těmito hodnotami se pak provede samotný perfo test (100 % zátěž a různé otáčky motoru). Tento test je někdy vyžadován zadavatelem testu, ale ve většině případů se provádí jako porovnávací měření pro zjištění stavu motoru.

V průběhu ostatních různě zaměřených testech se motor provozuje daleko od hranice klepání. Je to dáno také tím, že při testech je většinou požadavek na vysokou teplotu výfukových plynů a té nelze dosáhnout při vysokých hodnotách předstihu zážehu.

V žádném případě to neznamená , že klepání je nutno poslouchat jen při mapování předstihu zážehu. Je vhodné poslouchat klepání i při mapování plnícího tlaku, zejména ve vyšších zatíženích motoru, kdy by občasné zaklepání mohlo nastat vlivem vysokého plnícího tlaku. Hodnota předstihu zážehu se musí také upravovat při provozu motoru v samotném testu. Během provozu motoru dochází k jeho opotřebení, ke změnám provozního stavu, a tudíž i ke změně teploty výfukových plynů. Tu je pak nutno upravit adekvátním zásahem do hodnoty předstihu zážehu.

7. Na základě všech předchozích korekcí pak ECU vypočítává omezení úhlu zážehu a výsledkem je bod zážehu.

2.3.4 Regulace lambda

Ke snižování objemu škodlivých emisí zážehového motoru se používají třícestné katalyzátory. Ty přeměňují tři škodlivé složky CO, HC a NO_x na H_2O, CO_2 a N_2 . Aby tato přeměna probíhala s co největší účinností je nutno držet λ ve velmi úzkém rozsahu v tzv. lambda rozsahu, kdy $\lambda = 0{,}99 \ldots 1$. K udržení tohoto úzkého rozsahu je možné jen pomocí lambda regulace, jejíž snímacím členem je tzv. lambda sonda, která měří obsah kyslíku ve výfukových plynech. Pokud připojíme napěťový signál z lambda sondy na osciloskop, pak $\lambda > 1$ (chudá směs) odpovídá napětí 0,1V a $\lambda < 1$ (bohatá směs) odpovídá napětí 0,8 V. Při regulaci se pak neustále skokově mění stavy chudá a bohatá směs.“ Doba periody této oscilace je určena dobou proudění plynů a amplituda je stanovena strmostí náběhu tak, aby i přes různě dlouhé doby proudění plynů zůstala v celém rozsahu zatížení co nejvíce konstantní. [Vlk, 2006, s.66]

Lambda regulace na základě signálů o zatížení, otáček motoru a měřením z lambda sondy zasahuje do vstřikovacího signálu tak, aby byl v nižších a částečných zatíženích udržen $\lambda = 0{,}99 \ldots 1$. V případě testování turbodmychadel se lambda regulace nepoužívá pro udržení lambda = 1, protože se nesledují emise (ve vysokých zatíženích je není možné ani udržet) a ani není ve většině případech použit katalyzátor, ale jen pro regulaci směsi ve smyslu obohaceni směsi ve vyšších zatíženích, případně k jemnému doladění teploty výfukových plynů. V nízkých a středních zatíženích motoru je λ zpravidla rovna jedné. Čas strávený při testech v těchto oblastech je minimální a pramení z požadavků na test. Hodnoty λ se vnášejí

do dvouosé mapy s názvem **Carto de lambda objectif**, kde hodnota λ odpovídá závislosti otáček motoru na zatížení motoru.

2.3.5 Regulace plnícího tlaku

U většiny zážehových přeplňovaných motorů je pro regulaci plnícího tlaku použita WG regulace. Hlavním důvodem rozšíření je jednoduchost konstrukce WG regulace a také odolnost proti vysokým teplotám výfukových plynů (až 1070 °C) a jeho životnost.

Jedná se o regulaci přes obtokový ventil, jehož hlavní funkcí je zabránit přílišnému zvýšení plnícího tlaku, ke kterému by mohlo dojít při vyšších hmotnostních proudech výfukových plynů. WG regulace tomuto nebezpečí zabraňuje tím, že přepouští výfukové plyny kolem turbínového kola dále do výfukového potrubí.

Klapkový ventil je ovládán přes pákový mechanismu pneumaticko - mechanickým aktuátorem, ale mnohem častěji pneumaticko – elektronickým aktuátorem. U motorů v současné produkci bývá aktuátor vybaven snímačem polohy, neboli zpětnou vazbou informující ECU motoru o přesné poloze otevření klapkového ventilu. Aktuátor se skládá ze dvou komor oddělených membránou. V jedné komoře je atmosférický tlak a vratná pružina. Do druhé komory je přiváděn:

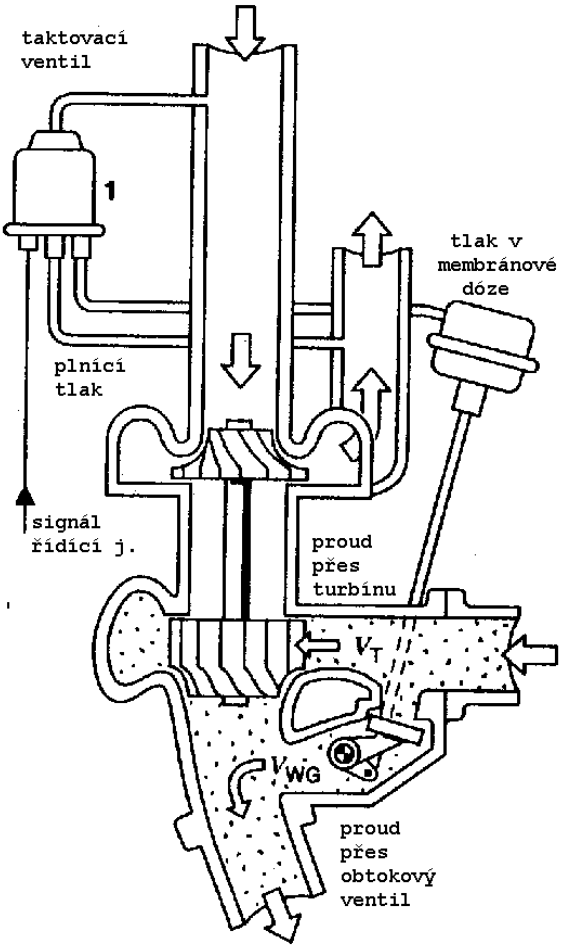
a) plnící tlak od kompresoru přímo, a to v případě regulace mechanickým aktuátorem. Plnící tlak je v tomto případě i řídícím tlakem. Průběh kroutícího momentu motoru není téměř vůbec ovlivnitelný v závislosti na otáčkách. Dochází k omezení plnícího tlaku jen v závislosti na zatížení, a to při plném zatížení. Zjednodušeně řečeno je dosaženo pouze dvou poloh klapky, zavřeno a plně otevřeno. Při částečném zatížení zavřený obtok zhoršuje účinnost. Výsledkem jsou ztráty ve formě zvýšené výtlačné práce motoru, zvýšeného tlaku a teploty na výstupu z kompresorové části turbodmychadla a zvýšeného tlakového spádu na škrtící klapce. Jednou z nevýhod je také výrazný turbo-efekt. Tyto nevýhody částečně odstraňuje regulace elektronická a to buď v kombinaci s podtlakovou (zejména u dieselových motorů) nebo s přetlakovou.
b) řídící tlak přes elektromagnetický taktovací ventil, a to v případě elektronické regulace. Na základě hodnoty zatížení, otáček motoru, poloze pedálu (požadavku

řidiče) nebo úhlu natočení škrtící klapky a dalších korekčních veličin (teplota chladící kapaliny, teplota okolí, atmosférický tlak, použité palivo(OČ) atd.) je elektromagnetický ventil ovládán pulzně modulovaným signálem z ECM motoru. Výsledkem je „plynulejší“ regulace polohy klapkového ventilu, jehož poloha není omezena pouze na dvě polohy otevřeno a zavřeno. Největší výhodou je zlinearizování průběhu kroutícího momentu motoru a potlačení turbo-efektu.

Nejdůležitějšími součástmi elektronicko pneumatické regulace jsou:

- elektromagnetický pulzně ovládaný ventil
- membránová dóza (membránová pružina)
- ventilový talíř WG klapky

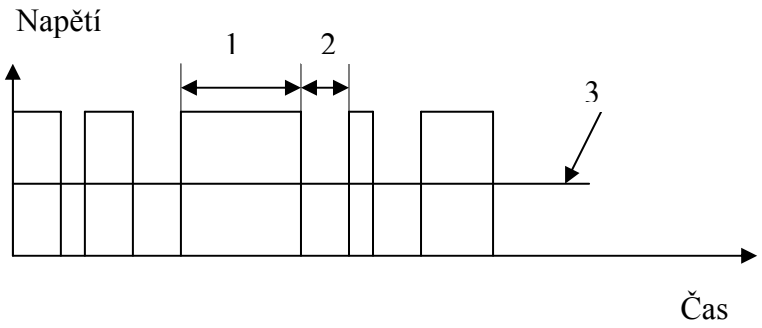
Všechny tři členy musejí být pro správnou regulaci spolu sladěny.



Obr. 2.3.5.1 Schéma regulace plnícího tlaku pomocí WG. [Ferenc,2004]

Pro dosažení požadovaných hodnot tlaků P1E request resp. P2C je nutné adekvátně ovládat elektromagnetický ventil neboli měnit hodnotu řídícího tlaku, který působí v membránové dóze. Podle velikosti tohoto tlaku se mění průtočný průřez obtokového ventilu a dochází ke změnám tlaku P2C a P1E. ECU snímá hodnoty zatížení motoru (v případě testování P1E), otáčky motoru a ostatní korekční veličiny. Podle těchto hodnot pak dopočítává hodnotu šířky pulzu. Základní hodnota šířky pulzu je vnášena do mapy **FeedForw_P2CCtrlMap – Prépositionnement régulation P2C** a vyjadřuje šířku pulsu v procentech v závislosti na otáčkách motoru a P1E request.

Modulace šířkou pulzů PWM znamená trvání impulsu zapnutého signálu, např. napěťového. Doba sepnutí signálu se někdy uvádí také jako střída a vyjadřuje poměr doby zapnutí a vypnutí signálu PWM. Jestliže tedy hodnota PWM signálu pro ovládání elektromagnetického signálu činí např. 35%, znamená to, že napěťový signál je 35% aktivní nebo vztaženo na jednu sekundu modulace šířkou pulsu, je 350 ms zapnutý a 650 ms vypnutý. Magnetická síla cívky ventilu je určována řízením proudu. Pak je přesně řízeno otevření klapkového ventilu WG regulace. [Vlk, 2006, s.108]

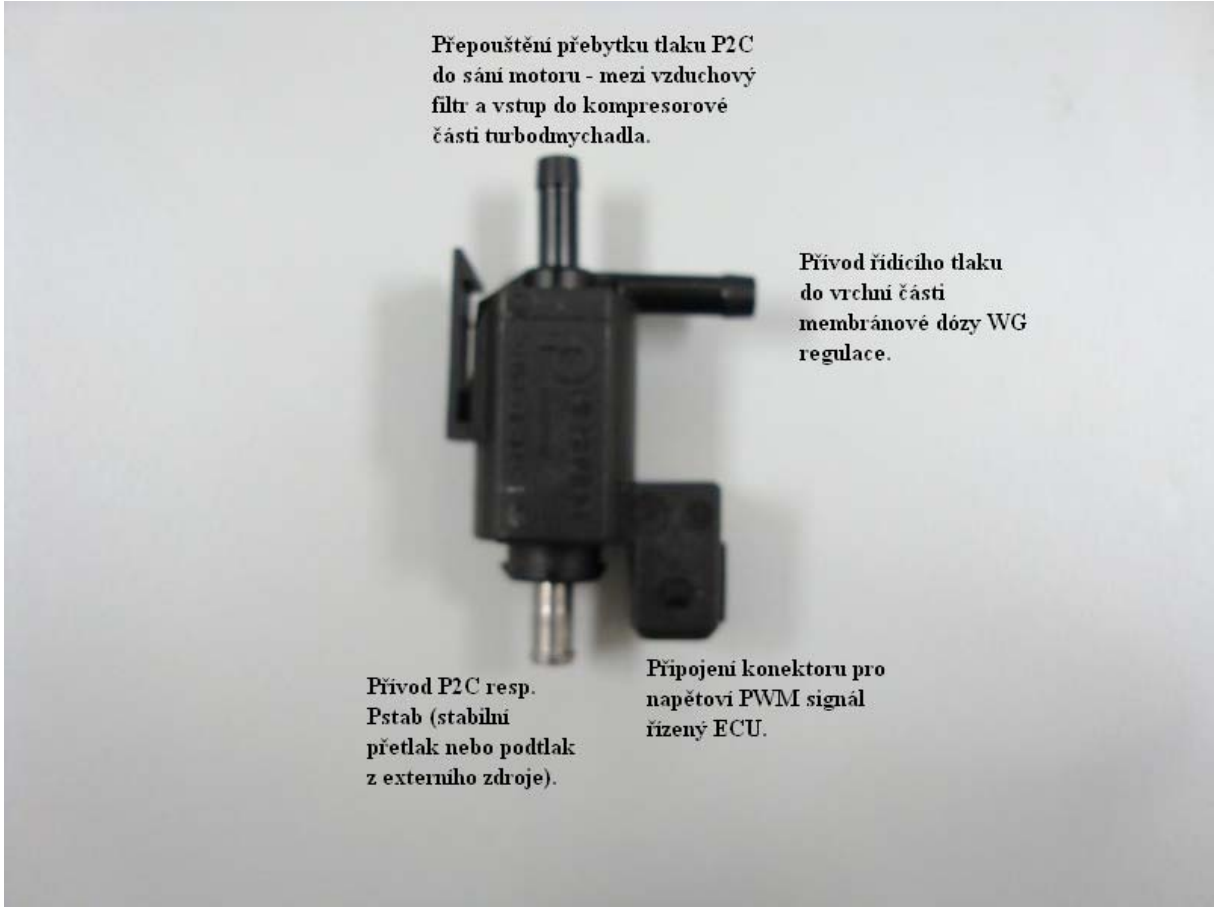


Obr. 2.3.5.2 Modulace šířkou pulsu [Vlk, 2006]

1 – šířka pulsu – signál aktivní

2 – signál neaktivní

3 – střední hodnota napětí



Obr. 2.3.5.3 Elektromagnetický ventil – regulační člen WG regulace.

2.3.6 Omezení otáček motoru

Vysoké otáčky motoru by mohly znamenat poškození motoru, a proto je nutné zabránit omezovačem otáček provozu motoru v těchto otáčkách. Při překročení maximálních otáček motoru dojde k odpojení vstřikovacího systému, resp. k přerušení dávky paliva. Po klesnutí otáček do bezpečných hodnot se dodávka paliva obnoví. Pak může docházet v rychlém sledu k opakovanému přechodu mezi bezpečnými a nebezpečnými otáčkami. Regulace omezení otáček motoru tedy probíhá sinusově. [Vlk, 2006, s.74]

V System monitoru se hodnota nebezpečných otáček, po jejíž překročení dojde k odpojení paliva, vnáší do mapy **Limiteur de régime** do prvního řádku a do druhého řádku hodnota delta, ve které bude regulace omezení otáček probíhat. Např. max. otáčky motoru budou 6100 min^{-1}a delta = 400 min^{-1}. Znamená to, že k odpojení dávky paliva dojde při 6300 min^{-1}a k obnovení dávky paliva při 5900 min^{-1}.

3 . Požadavky na testování

V této kapitole jsou popsány základní typy testů jejich aplikace a účel. Dále všeobecné požadavky na testování a požadavky ovlivnitelné změnami příslušných parametrů v řídící jednotce motoru.

3.1 Analýza metod testování turbodmychadla zážehového motoru

Testování turbodmychadel je až třetí fází na cestě vývoje. Nejprve se provede návrh turbodmychadla a jeho 3D model. Pomocí simulačního programu (Ansys) se provedou simulace vibrací, teplotního a jiného zatížení (kompletní FEA analýza). Pokud analýza je v pořádku, následuje výroba prototypu. Následujícím krokem jsou dílčí testy turbodmychadla. Prototyp se nejprve testuje na spalovací komoře, kde se měří tzv. kompresorová a turbínová mapa (specifická geometrie kompresorového i turbínového kola a jejich skříní ovlivňují výsledné parametry turbodmychadla). Dalším krokem je testování na tzv. motorové stanici (na dynamometru). Poslední fází je testování na konkrétní aplikaci, pro kterou je turbodmychadlo určeno, např. jízdní zkoušky osobních vozidel. Ty jsou prováděny buď v běžném provozu nebo na uzavřených tratích a sleduje se na nich zejména hlučnost a vibrace.

3.1.1 Typy testů

a) Testy zaměřené na životnost turbodmychadel – provádí se jak na motorových stanicích (až 1000 hodin), tak na spalovacích komorách (až 500 hodin). Zejména test na spalovací komoře ověří životnost.
b) Testy na ověření bezpečnosti turbíny a dmychadla. Turbína i dmychadlo se testují odděleně na spalovacích komorách.
c) Test ložisek – test na maximální dovolenou úchylku ložiskové soustavy se provádí při maximálních otáčkách hřídele turbodmychadla. Pokud je tento test úspěšný, je zajištěn bezproblémový provoz ložisek a životnost turbodmychadla. Za předpokladu, že nedojde během provozu k vniknutí cizího předmětu do turbíny nebo dmychadla a bude zajištěno správné mazání (olej bez nečistot apod.). Součástí je také vyhodnocení axiální a radiální vůle ložisek.

d) Těsnost – tento test je zaměřen na životnost a spolehlivost těsnění. Toto těsnění má zajistit , aby nedošlo ke vniknutí oleje (přiváděn do centrální skříně, zajišťuje mazání a chlazení) do skříně turbíny nebo dmychadla. Během tohoto testu nesmí dojít k žádnému úniku, respektive se sleduje čas do prvního úniku.
e) Teplotní šoky – zaměřené na odolnost proti tvorbě karbonu a jeho ulpívání v centrální skříni pro uložení hřídele turbodmychadla. Turbodmychadlo se nejprve zahřeje na požadovanou (velmi vysokou) teplotu a určitou dobu běží při této teplotě, následuje okamžité zastavení turbodmychadla (vypnutí motoru nebo plynové spalovací komory). Tento postup se opakuje několikrát za sebou dle požadavku. Aplikuje se zejména pro testování turbodmychadel zážehových motorů, kde jsou větší teploty výfukových plynů.
f) Funkční charakteristika turbíny a kompresoru – provádí se na výkonové plynové spalovací komoře. Výsledkem je charakteristika turbíny a kompresoru. Využívá se také k ověření stálosti parametrů před a po jiných testech.
g) Rezonance – test zaměřený na odolnost lopatek turbínového a kompresorového lopatkového kola proti vlastní frekvenci (nakmitání) . Provádí se zejména na velkých turbodmychadlech, kde musí být lopatky dostatečně pevné, aby odolávaly případným vibracím.
h) Teplotní cykly – 200 hodinový výkonový test, kdy turbodmychadlo opakovaně pracuje mezi nízkými a velmi vysokými teplotami. Testuje se životnost a odolnost proti tvorbě trhlin turbínové skříně a deformacím lopatek turbínového kola.
i) Moment setrvačnosti rotoru – měří se moment setrvačnosti turbínového a kompresorového lopatkového kola.
j) Otáčky hřídele turbodmychadla – analytický test, kterým se ověřuje zda nedochází k destrukci hřídele při maximálních otáčkách. Například pro velká lopatková kola bude nutno použít hřídele velkých průměrů, aby nedocházelo k jeho ohýbání.
k) Odolnost proti únavě materiálu.
l) Vibrace turbodmychadla – kompletní turbodmychadlo se testuje na vibračních strojích. Simulují se těžké provozní podmínky různými vibračními pásmy. Je to další z testů, který je zaměřený na životnost a spolehlivost.
[www.turbobygarrett.com, 2009]

Cílem všech testů je ověřit důležité vlastnosti jak jednotlivých skříní, tak lopatkových kol, ložisek, hřídele turbodmychadla atd. Zajistit životnost, spolehlivost a tím pádem bezporuchový provoz.

3.2 Všeobecné požadavky na testování

Na testování turbodmychadel jsou kladeny nejrůznější požadavky a různými způsoby se také docilují. Základní požadavky jsou vždy uvedeny v instrukcích testu.
Je zde uveden:

- účel testu
- cíl testu, respektive na co je zaměřen
- všeobecné informace o testu
- fyzikální veličiny, které je nutné během testování měřit, např. otáčky motoru, T1E, T1T, T2T, TT, kroutící moment motoru apod.
- konstrukční uspořádání turbodmychadla např., že musí být demontovatelný hřídel aktuátoru, základní nastavení aktuátoru, jak mají být umístěny termočlánky a snímače tlaku na turbodmychadle apod.
- vlastní instrukce test – ty se skládají ze dvou částí. V jedné je určeno, jaký má být průběh testu a jeho jednotlivých sekvencí např. doba jednoho stepu nebo celého cyklu, čas rozběhu motoru z volnoběžných otáček do určených, čas přidávání nebo ubírání zatížení apod. Podle těchto dat se programuje test a následně je jím řízen chod cely při testování. Patří sem řízení dynamometru, chladícího zařízení, přívodu paliva a dalšího příslušenství.
  Ve druhé části instrukcí testu jsou požadavky, které jsou ovlivnitelné namapováním ECU ve softwareu SM.
- postup resp. průběh testu a doprovodných činností tj. revize, měření apod.
- podávání výsledku z testů
- další informace, kde může být např. uvedeno nedemontovat turbodmychadlo z motoru během testu, pokud to není nezbytně nutné.

3.2.1 Požadavky na testování dosažitelné úpravou 3D map ECU

Patří sem požadavky na:

- T1T tj. teplotu výfukových plynů na výstupu z motoru před turbodmychadlem
- P1T tj. tlak výfukových plynů na výstupu z motoru před turbodmychadlem. Zpravidla je požadována maximální hodnota (3 bar), která nesmí být překročena.
- PIT tj. poměr tlaků na vstupu a na výstupu turbínové části turbodmychadla. Tento požadavek se může vztahovat ke stálé poloze ventilu WGregulace, pak bývá hodnota cca 1,26 bar nebo při oscilující hodnotě zatížení, pak bývá hodnota mezi 1,18 a 1,35 bar. Někdy bývá požadavek na maximální hodnotu 1,5 bar při pohybujícím se ventilu WG regulace. Pak je potřeba dosáhnout při otevřeném ventilu tlaku 1,6 bar a při zavřeném 1,4 bar.
- P1E tj. velikost plnícího přetlaku vzduchu vstupujícího do motoru. Ponechává se většinou na hodnotě pro OEM turbodmychadla. Nabývá maximálně 1 bar. přetlaku v případě testování na motoru Saab B205R..

Pro tyto hodnoty jsou samozřejmě stanovené tolerance. V případě T1T to bývá většinou ± 10 °C, v případě PIT ± 0,1 apod.

4 Návrh metodiky – postup vytváření map

Následující část práce popisuje softwarové rozhraní System monitor, které slouží ke tvorbě jednotlivých map a také vytváří komunikační rozhraní s ECU TAG-400. Zobrazuje aktuální provozní data motoru a obsahuje funkci diagnostiky ve formě chybových hlášení v záložce **Error Event**.

4.1 Popis softwarového rozhraní pro tvorbu map

Software System monitor je tvořen podobnou architekturou jako komerčně známé programy Excel, Word apod. a také práce s ním je obdobná. V horní části je základní rozevírací menu. Vedle obvyklých položek jako File, Help, Desktop atd. jsou důležité a nejpoužívanější položky:

Edit – a v něm funkce Restore value (rychlá volba funkční klávesou F2), která obnovuje data načtená v ECU zpět na data vytvořená v SM.

View – Explorer – pomocí této funkce lze otevřít jakékoli informační okno nebo mapu ve kterékoli záložce (General, Pedal, Throttle ctrl atd.), pakliže známe jeho název.

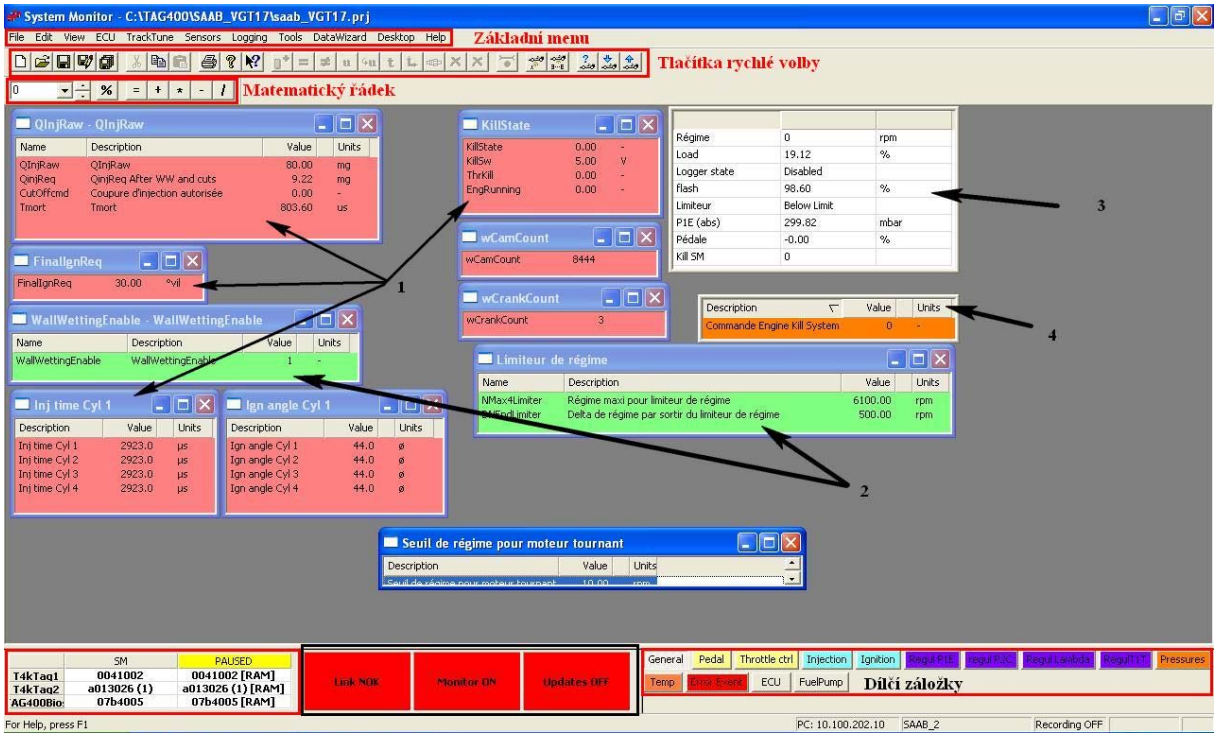
ECU - On line - (rychlá volba funkční klávesou F3), pokud nezačne probíhat výměna dat mezi ECU a SM po zapnutí zapalování, lze vyvolat stisknutím klávesy F3, pakliže nenastane ani pak, je nutno hledat chybu ve vedení mezi ECU a SM.

Tools – Osciloskope – lze vyvolat signály od různých snímačů a akčních členů na výstupy pro připojení externího ociloskopu

Popis hlavního okna SM

V základním menu se nachází rozvírací menu programu. Pod ním tlačítka rychlé volby a pod tlačítky rychlé volby tzv. matematický řádek, pomocí něhož se vkládají resp. upravují hodnoty do jednotlivých políček při mapování jednotlivých řídících okruhů. Matematický řádek tedy umožňuje základní matematické operace (sčítání, odčítání, násobení, dělení) .

V hlavním poli při otevřené jakékoli záložce (na obr. 4.1.1 záložka General) jsou zpravidla otevřena informační nebo aktivační okna popřípadě okna map související s názvem (účelem) záložky. Otevření oken v záložkách si volí obsluha tak, aby dostávala potřebné informace v právě otevřené záložce. Pomocí funkce Explorer lze otevřít kterékoli okno (je nutné znát jeho jméno) ve všech záložkách. Ale je vhodné pro přehlednost otevírat jen ta okna, která souvisejí s účelem dané záložky.



Obr. 4.1.1 Popis System Monitoru

1. Informační okna – červené pozadí
2. Aktivační okna – zelené pozadí, lze měnit jejich hodnoty
3. Informativní okno zobrazené téměř ve všech záložkách
4. Specifické aktivační okno sloužící k okamžitému zastavení motoru.

Informační a aktivační okna se dělí podle barvy pozadí. Informační okna (pozice 1 na obr. 4.1.1) mají pozadí červené barvy a zobrazují informace od různých snímačů, akčních členů nebo okamžité programem dopočítané hodnoty, které vycházejí se základních hodnot vložených do určitých map, např. okamžitou hodnotu předstih zážehu oproti hodnotě vložené do mapy pro mapování předstihu zážehu. Aktivační okna mají zelené pozadí (pozice 2) a hodnoty lze účelně měnit např. v okně **Limiteur de régime** maximální otáčky motoru a delta regulaci. Dále se v hlavním pracovní poli zpravidla nachází okno označené šipkou 3, které poskytuje další informační hodnoty o chodu motoru, jako jsou otáčky motoru, zatížení motoru (dle vnitřního systému programu to znamená, že zatížení neodpovídá rozsahu 0 … 100 % tak jako v řídícím SW PUMA OPEN pro ovládání motorové brzdy. Při tvorbě map je tedy nutno sledovat zatížení motoru uvedené v SM), P1E absolutní hodnotu, polohu pedálu plynu apod..

Okno č. 4 je specifické aktivační okno a slouží k okamžitém zastavení motoru. Tohle okno podobně jako mnoho dalších „zelených“ oken je jednobitové. Hodnota 0 znamená deaktivaci dané funkce a přepsání na hodnotu 1 její aktivaci.

V pravém dolním rámečku se nacházejí tlačítka pro otevírání jednotlivých záložek řídícího systému motoru. Jsou to:

General- základní záložka, která nemá specificky danou funkci, zpravidla slouží pro zobrazování různých informačních, aktivačních a jiných oken.

Pedal – slouží k nastavení hodnot pro správnou funkci potenciometrových drah elektronického pedálu plynu a ke sledování okamžitých hodnot napětí dle polohy pedálu plynu.

Throttle ctrl – nastavení a sledování hodnot pro správnou funkci elektronicky ovládané škrtící klapky

Injection, Ignition, Regul P1E, Regul P2C, Regul Lambda, Regul T1T – záložky pro tvorbu map jednotlivých regulačních okruhů, a sledování příslušných okamžitých hodnot

Pressures, Temp – záložky pro nastavení hodnot teplotního a tlakového modulu

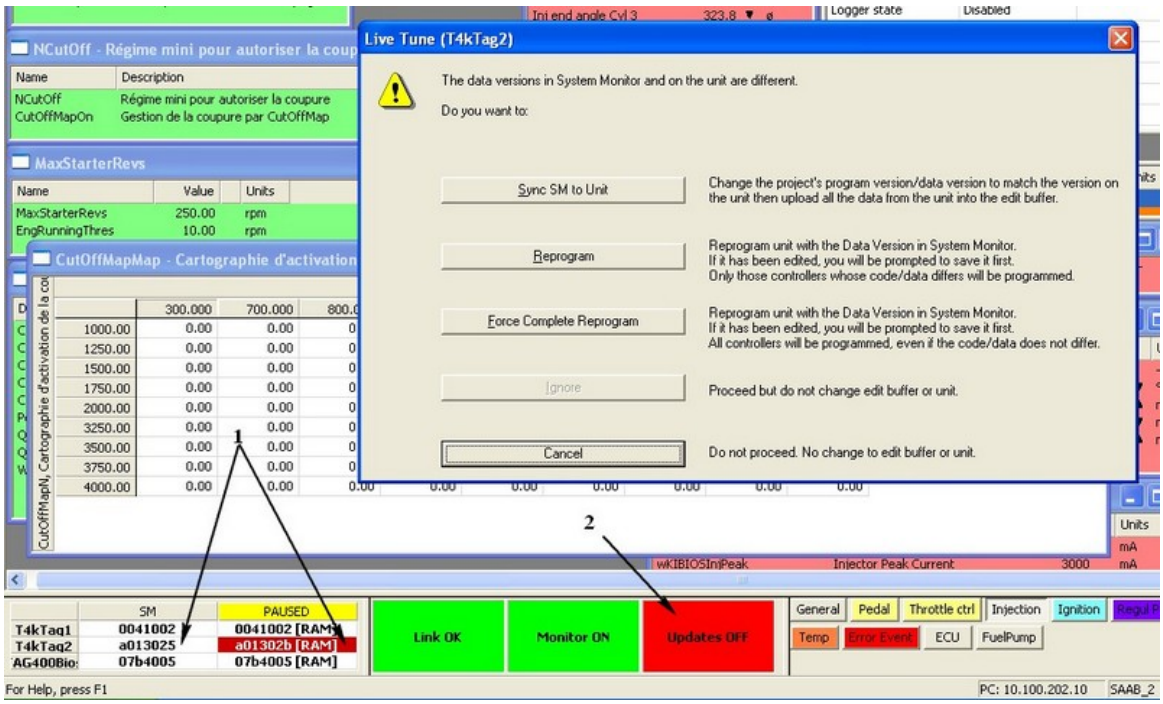
Error Event – chybová hlášení

ECU – v této záložce se nastavují základní informace o zapalovacím a vstřikovacím systému apod., tak aby ECU mohla správně vykonávat svoji činnost. Vkládají se sem např. informace o pořadí zapalování, který válec je brán jako výchozí (resp. horní úvrať kompresního zdvihu příslušného válce), maximální doba sepnutí primárního okruhu, zda je použito skupinového uspořádání pro vstřikovací a zapalovací systém, jaký typ snímače otáček klikového hřídele je použit (např. 60-2 zubů), počet válců motoru atd..

FuelPump – data pro chod palivového čerpadla a sledování okamžitých hodnot

Tři velká pole v dolní liště mají následujíc význam. **Link (F2)** poskytuje informaci zda komunikace mezi SM a ECU je funkční z hlediska připojení, **Monitor (F3)** ukazuje zda data komunikují a **Updates (F4)** zobrazuje jestli dochází ke vzájemné výměně dat mezi ECU a SM, což je poslední nutná podmínka před spuštěním motoru. V závorkách jsou uvedeny názvy funkčních kláves ke spuštění daných funkcí, pakliže po zapnutí zapalovaní se tak nestane.

V levém dolním okně se nachází tabulka o dvou sloupcích a třech řádcích. Sloupec SM ukazuje stav programu a sloupec ECU stav řídící jednotky. Pokud je vypnuto zapalování, pak se ECU přepne do režimu PAUSED. První řádek tabulky T4kTag1 ukazuje formát dat. Druhý řádek T4kTag2 zobrazuje otevřený soubor map, resp. načtený projekt. K ukládání projektů se používá výhradně formátu T4kTag2 . Poslední řádek AG400bios je informace o verzi programu . Data v tabulce musí být vždy stejná jak pro SM tak pro ECU, tj. data vytvořená v SM musí být načtená v přepisovatelné paměti RAM řídící jednotky. Zejména u souboru map (T4kTag2) může při náhlém vypnutí programu za chodu motoru (motor pracuje dál na základě dat načtených v RAM paměti) a jeho opětovném spouštění (před spuštěním programu je nutno zastavit motor) nastat nesoulad mezi daty v ECU a v SM. Zpravidla dojde k tomu, že po zapnutí zapalování se nezaktivují (nezezelenají) Updates a na obrazovce se objeví okno **Live Tune (T4kTag2)** vyzývající k provedení nápravy obr. 4.1.2.



Obr. 4.1.2 Chybové hlášení Live Tune

Legenda k obr. 4.1.2

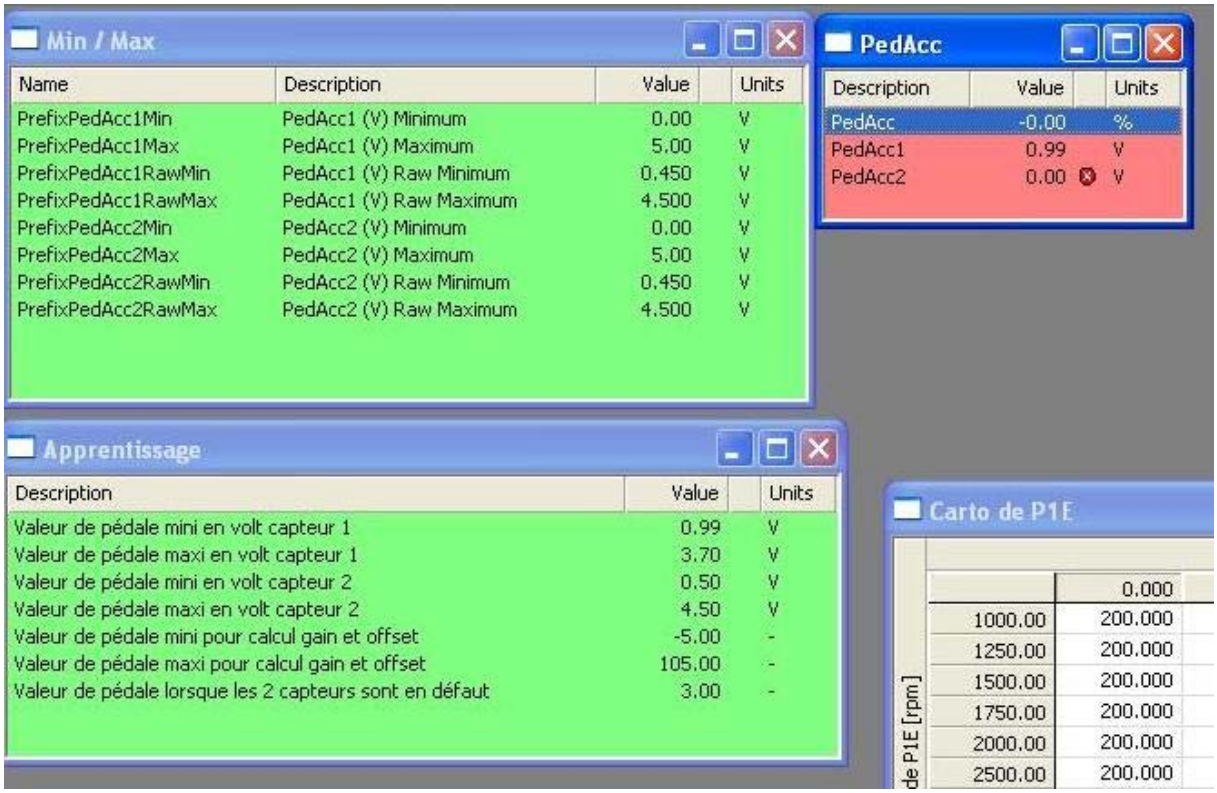
1 – data načtená v SM a RAM ECU jsou rozdílná

2 – nedojde ke zaktivování Updatem, protože systém neví, zda má načíst data z SM do ECU nebo provést jinou operaci. Možnosti k odstranění problému nabízí okno Live Tune. Nejčastější volbou je načtení dat z ECU do SM, tedy první volba **Sync SM to Unit,** protože data v přepisovatelné paměti ECU jsou nejnovější.

4.2 Tvorba map řídící jednotky motoru

Tvorba map má jediný možný postup. Začíná se mapováním P1E pak T1T, P2C, Ignition a Lambda Regul, potom většinou následuje Perfo test a po něm mapování Ignitionu a Lambda Regul podle požadavků z instrukcí vlastního testu. Před začátkem mapování je nutno vnést do SM a ECU data pro správnou funkci snímačů a akčních členů. Tyto kroky je potřeba udělat, jestliže se uvádí do provozu nový typ motoru, na kterém se dříve netestovalo a nebo nová ECU. Při testování na již známem typu motoru není zpravidla nutné měnit tyto veličiny při výměně stejných motorů a jeho ovládacích členů ani v průběhu testování. Jedná se tedy o data pro:

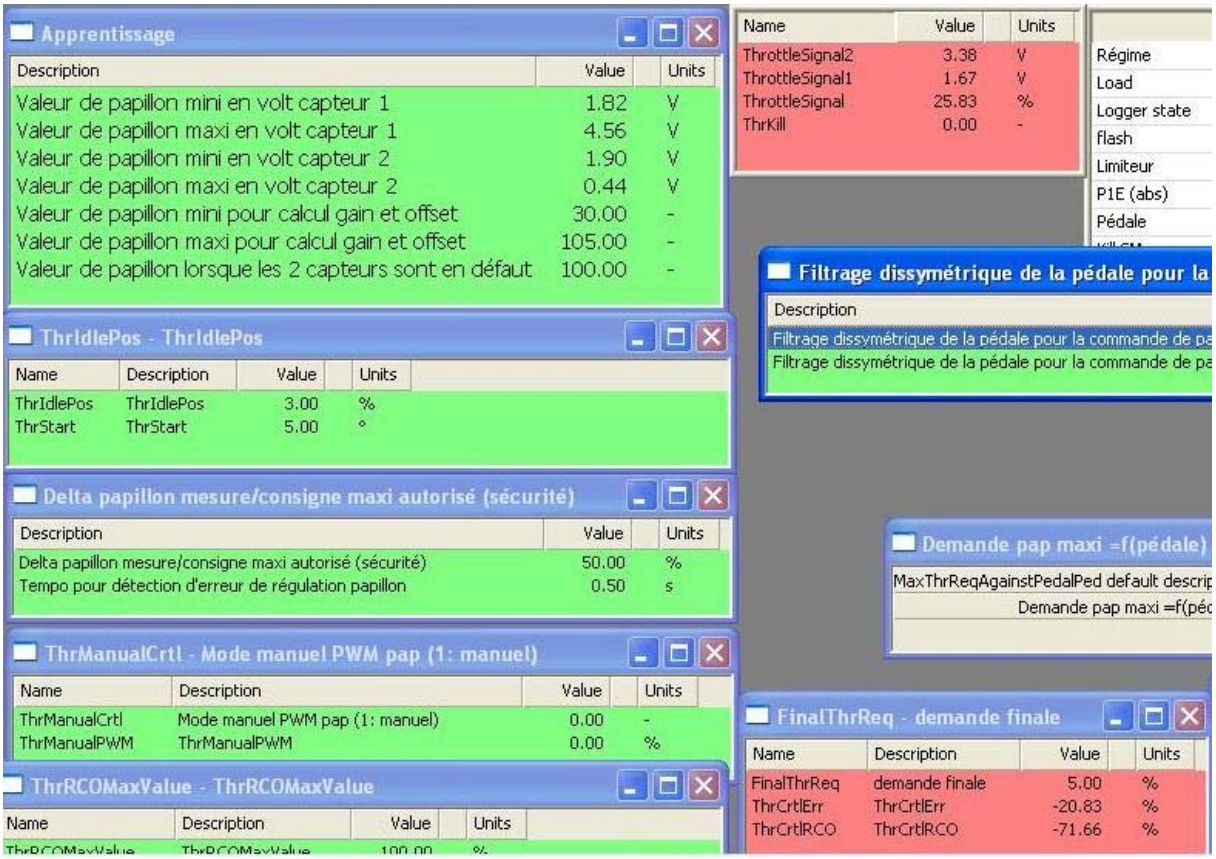
Pedal – zde se nastavují kalibrační hodnoty, tj. maximální a minimální hodnota napětí při nesešlápnutém pedálu a při maximálně sešlápnutém pedálu plynu. Informační okno PedAcc v záložce Pedal zobrazuje polohu pedálu plynu v % a tomu odpovídající výstupní napětí.



Obr. 4.2.1 Pedál plynu - nastavení

Throttle ctrl – stejně jako v záložce Pedal se v okně Apprentissage vkládají hodnoty pro správnou funkci škrtící klapky. Dále se nastavuje poloha škrtící klapky při volnoběžných otáčkách motoru (ThrIdlePos), poloha při maximálně sešlápnutém pedálu plynu

(ThrRCOMaxValue), poloha škrtící klapky v závislosti na poloze pedálu plynu (Demande pap maxi) a také poloha škrtící klapky v závislosti na požadavku P1E (P1EThrReq).



Obr. 4.2.2 Škrtící klapka – nastavení.

Nastavení správných hodnot pedálu plynu a škrtící klapky je důležité pro vzájemnou synchronizaci těchto akčních členů.

ECU a **FuelPump –** vložení dat zmíněných v kapitole 4.1

Pokud dojde k výměně RPU modulu pro tlaky je potřeba provést potřebné změny v záložce **Pressuress,** aby docházelo ke správnému přepočítávání hodnot a převodu jednotek. Modul se nastavuje dle informací od výrobce. Pokud dojde k výměně RPU modulu pro teploty nemusí se nic v záložce **Temp** nastavovat, protože modul je již nakalibrovaný od výrobce.

Při správném nastavení všech výše zmíněných dat,údajů a hodnotě Pstab můžeme za předpokladu, že není nikde v systému řízení testovací cely chyba a motor je také bez závad, překročit k vlastnímu mapování ECU.

Tvorba map se vždy uskutečňuje na základě nějakých, většinou map z předchozích testů, které se upravují podle instrukcí dalšího test. Jedná se tedy o přepisování map dříve vytvořených. Není možné spustit motor s prázdnou ECU.

4.2.1 Mapování Injection – dávkování paliva

Jediná záložka, kde se v hlavní mapě (**InjEndMap – carto phasage fin injection)** před ani v průběhu testování neprovádějí žádné změny. Obr. 7.1 zobrazuje 3D mapu vstřikování paliva. Mapa, která se v této záložce často využívá, je mapa s názvem **CuttOffMapMap – Cartographie d'activation de la coupure d'injection** (obr 4.2.1.1). Slouží k odpojování dávky paliva v různých zatíženích (požadavcích na P1E request) a otáčkách motoru, čehož se využívá zejména v testech zaměřených na teplotní šoky. Zaktivování funkce odpojení vstřiku znamená vepsat do příslušného řádku a sloupce(ů) číslovku 1. Před a za tento řádek se musí vložit číslovka 2. Číslovka 2 slouží jako informace pro přechodový režim viz. obr 4.2.1.1.

CutOffMapMap - Cartographie d'activation de la coupure d'injection

CutOffMapM, Cartographie d'activation de la co

CutOffMapP1EReq, CutOffMapP1EReq default description [min]

	300.000	700.000	800.000	980.000	1000.000	1400.000	1600.000	1800.000	2000.000
1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1250.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2250.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3250.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3500.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3750.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obr. 4.2.1.1 Odpojení dávky paliva ve 3500 min $^{-1}$ a P1Erequest 300 – 1400 mbar.

4.2.2 Mapování P1E – požadavek plnícího na vstupu do motoru

P1E je jedním z požadavků instrukcí testu, který je ovlivnitelný (dosažitelný) změnami v příslušné mapě **P1EReqMap – Carto de P1E** (obr. 4.2.2.1) prostorové zobrazení viz přílohy obr. 7.2. Do této mapy se tedy vkládají požadované hodnoty tlaků P1E [mbar] v závislosti otáček motoru [min^{-1}] na zatížení motoru (v této mapě je rozsah zatížení od 0 do 100 %). Ve většině případech vyhovují mapy P1E request stejné jaké jsou v sériových řídících jednotkách pro běžný provoz. Pro testování není až tak důležité dosáhnout co nejvyšší plnící tlak, ale dodržet požadovaný průběh v určitém rozsahu otáček a zatížení motoru, např. aby plnící tlak nebyl příliš vysoký v nízkých zatíženích apod..

P1EReqMap - Carto de P1E

P1EReqLoad, P1EReqLoad default description []

P1EReqN, Carto de P1E [rpm]	0.000	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000
1000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	850.000	1000.000	1100.000	1100.000	1100.000	1100.000	1100.000
1250.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1075.000	1075.000	1100.000	1200.000	1200.000	1250.000
1500.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1075.000	1075.000	1100.000	1300.000	1450.000	1400.000
1750.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1075.000	1100.000	1100.000	1200.000	1300.000	1700.000
2000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1600.000	1800.000	2000.000
2500.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1600.000	1800.000	2000.000
3000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1600.000	1800.000	2000.000
3500.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1500.000	1700.000	2000.000
4000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1500.000	1700.000	2000.000
5000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1500.000	1700.000	2000.000
6000.00	200.000	400.000	640.000	810.000	980.000	1150.000	1200.000	1400.000	1500.000	1700.000	1900.000

Obr. 4.2.2.1 Mapa pro požadovaný tlak P1E motoru Saab 2.0 T .

4.2.3 Mapování T1T – teplota výfukových plynů před turbodmychadlem

Regulace T1T provádí omezené zásahy do bohatosti směsi a úhlu předstihu zážehu v závislosti na jejich hodnotách. Slouží spíše jako bezpečnostní limit. Při přiblížení se k hodnotě T1T uvedené v mapě **T1TReqMap – Carto consigne de T1T** na obr. 4.2.4.3 a zaktivované regulaci ve zvolených oblastech v mapě **ZoneActiveRegulT1TMap – Cartographie d'activation de la régulation T1T** na obr 4.2.4.2 začne regulace zásahem do bohatosti směsi regulovat T1T.

Postup mapování T1T

- Zaktivovat oblasti v mapě **ZoneActiveRegulT1TMap – Cartographie d'activation de la régulation T1T** , ve kterých je regulace T1T požadována, obr. 4.2.4.2. Závislost T1T na otáčkách motoru a zatížení, v tomto případě od 0 do 100 %. Pro určení správné hodnoty zatížení je nutné odečítat tuto hodnotu v okně obr. 4.2.4.1 příslušné

záložky. Zatížení je v některých mapách od 0 do 100 %, ale třeba v mapě předstihu zážehu je rozsah pro jemnější regulaci od 0 do 200 %.

Régime	0	rpm
Load	19.12	%
Logger state	Disabled	
flash	98.60	%
Limiteur	Below Limit	
P1E (abs)	299.82	mbar
Pédale	-0.00	%
Kill SM	0	

Obr. 4.2.4.1 Informační okno.

Aktivní regulace = hodnota 1 v mapě. V opačném případě hodnota 0 rovná se regulace deaktivována

ZoneActivRegulT1TMap - Cartographie d'activation de la régulation T1T

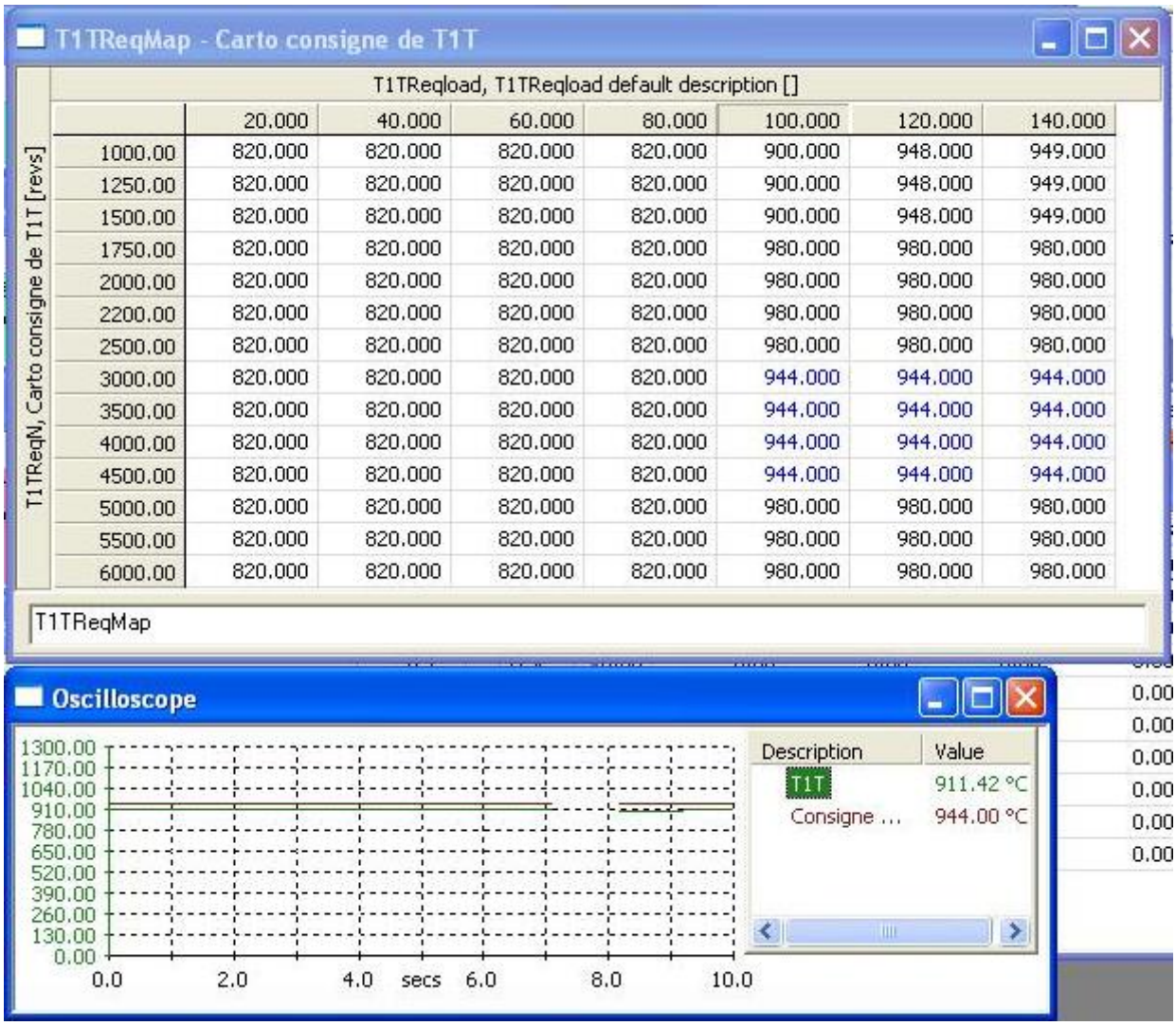
ZoneActivRegulT1TN, Cartographie d'activatio

ZoneActivRegulT1TCharge, ZoneActivRegulT1TCharge default description [min]

	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000
2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obr. 4.2.4.2 Aktivace regulace T1T – v zobrazené mapě je regulace vypnuta ve všech režimech.

- V mapě **T1TReqMap – Carto consigne de T1T** obr. 4.2.4.3 zapsat požadované hodnoty T1T v závislosti otáček motoru na zatížení (20 ÷ 140 %).
- Hodnota T1T musí být dosažena hlavně pomocí předstihu zážehu a Lambda regulace. Pokud bude požadavek na T1T třeba 1050 °C a hodnota předstihu zážehu nebude s velikosti T1TReq korespondovat (bude příliš vysoký předstih zážehu) samotná regulace T1T nebude schopna tento požadavek docílit. Regulace T1T probíhá v rozsahu ± 10 °C od T1TReq.
- Průběh samotné regulace a aktuální hodnoty T1T pro ECU resp. SM lze sledovat v okně **Oscilloscope** viz. obr. 4.2.4.3 . Hodnota pod názvem **Consigne …** zobrazuje požadavek T1T.



	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000
1000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	900.000	948.000	949.000
1250.00	820.000	820.000	820.000	820.000	900.000	948.000	949.000
1500.00	820.000	820.000	820.000	820.000	900.000	948.000	949.000
1750.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
2000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
2200.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
2500.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
3000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	944.000	944.000	944.000
3500.00	820.000	820.000	820.000	820.000	944.000	944.000	944.000
4000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	944.000	944.000	944.000
4500.00	820.000	820.000	820.000	820.000	944.000	944.000	944.000
5000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
5500.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000
6000.00	820.000	820.000	820.000	820.000	980.000	980.000	980.000

Obr. 4.2.4.3 Hlavní mapa regulace T1T a okno osciloskopu.

4.2.4 Mapování P2C – plnící tlak na výstupu z kompresorové části turbodmychadla

Mapování P2C se provádí na základě požadavku na P1E. P2C případně Pstab (stabilní přetlak z externího zdroje) vstupuje do elektromagnetického ventilu regulace plnícího tlaku. Elektromagnetický ventil přepouští část, všechno nebo žádné množství přiváděného tlaku P2C a tím vytváří řídící tlak. Řídící tlak pak působí ve vrchní částí dózy WG regulace a působí proti síle pružiny v dolní části dózy. Tím se nastavuje poloha ventilu WG regulace. Případný přebytek tlaku P2C je přepouštěn do sání motoru mezi vzduchový filtr a vstup do kompresorové části turbodmychadla. Velikost řídícího tlaku je určována pomocí šířky impulsu (PWM) přicházejícího do elektromagnetického ventilu z ECU. Hodnota PWM

signálu je vnášena do mapy **FeedForw_P2CCtrlMap - Prépositionnement régulation P2C** a procentuelně vyjadřuje polohu ventilu WG regulace.

Pokud je elektromagnetický ventil bez napěťového signálu, tak se tlak P2C rovná tlaku v horní části dózy a působí proti síle pružiny v dolní části dózy. Ventil WG regulace je plně otevřen tj. všechny výfukové plyny proudí kolem turbínového kola do výfuku. V mapě pro regulaci P2C tomuto stavu odpovídá hodnota 0 %. Jestliže, ale na elektromagnetický ventil je přiváděn maximální napěťový signál, P2C v celé své velikosti přechází v řídící tlak do horní části dózy. Výsledkem je plně zavřený ventil WG regulace. V mapě pro regulaci P2C tomuto stavu odpovídá hodnota 100 %. Hodnota 0 % vyjadřuje požadavek na přepouštění co největšího množství plynů kolem turbínového kola přes ventil WG regulace a hodnota 100 % požadavek na dosažení co nejvyššího plnícího tlaku neboli P1E. Hodnoty mezi 0 a 100 % vyjadřují částečné otevření ventilu WG regulace.

Při testování se často místo P2C, který se během chodu motoru mění, využívá na přívodu do elektromagnetického ventilu stabilního přetlaku označovaného jako Pstab. Velikost Pstab se nastavuje na hodnotu, při které je ventil WG regulace plně otevřen. Zpravidla tato hodnota leží mezi 25 – 40 % maximálního přetlaku, který je schopen externí zdroj vytvořit.

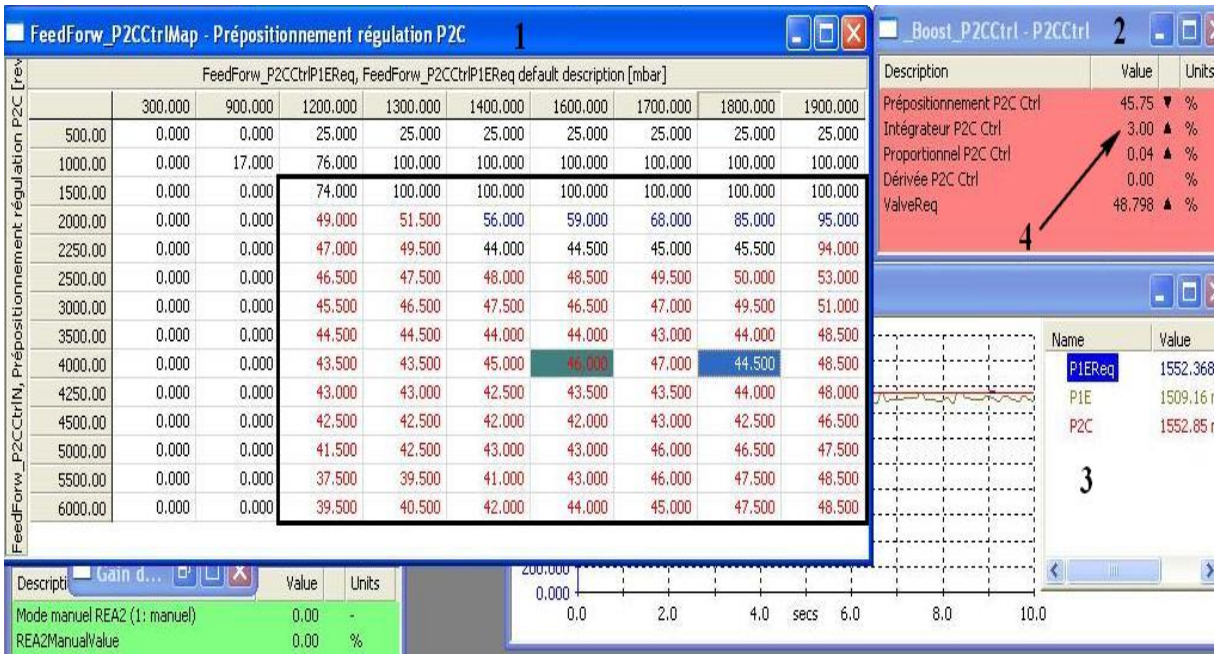
Postup mapování P2C

Regulace P2C začíná fungovat až od P1E request =1200 mbar.

Postup:

- Nastavit otáčky motoru na požadovanou hodnotu (většinou se začíná na 1500 min $^{-1}$) a zatížení motoru tak, aby hodnota P1Ereq (hodnotu lze sledovat třeba v okně **Oscilloscope,** pozice **3** na obr. 4.2.3.1) byla cca 1200 mbar.
- V tu chvíli se objeví v okně **Boost_P2CCtrl – P2CCtrl** mimo jiné určitá hodnota na řádku **Intégrateur P2C Ctrl** (pozice **4**) čili integrační složka PID regulace okruhu P2C. Hodnotu je důležité držet na ± 5 %, v lepším případě kolem 0 %. A to změnou hodnot v mapě **FeedForw_P2CCtrlMap - Prépositionnement régulation P2C.**
- Označíme myší požadované políčko v mapě **FeedForw_P2C…** (musí mít modré pozadí) odpovídající daným otáčkám motoru a P1Ereq.

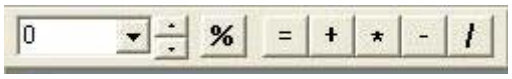
- Je-li hodnota **Intégrateur P2C Ctrl** v záporných číslech, je nutné hodnotu pro PWM signál v mapě **FeedForw_P2C…** také postupně snižovat, až dosáhne hodnota **Intégrateur P2C Ctrl** cca 0 %. Při kladných hodnotách **Intégrateur P2C Ctrl** je postup opačný. Změnu lze provádět přepsáním současných hodnot v mapě **FeedForw_P2C…** . Příliš velké změny (o 5 a více procent) mohou být nebezpečné a mít za následek přechod motoru do nouzového režimu. Proto je vhodnější využívat matematického řádku (Obr. 4.2.3.2). V matematickém řádku si nastavíme hodnotu skoku (při mapování P2C volíme skok většinou 0,5 %) a ten pak postupně přičítáme nebo odečítáme od výchozí hodnoty. I přes rychlost PID regulace je nutné mezi jednotlivými skoky vyčkat, až se hodnota **Intégrateur P2C Ctrl** ustálí a pak provést další skok, až se dostaneme na hodnotu **Intégrateur P2C Ctrl** = 0 %. V tu chvíli se P1EReq rovná P1E skutečný (lze kontrolovat v okně **Oscilloscope** – zobrazení hodnot v reálném čase).
- Poté přejdeme k mapování při P1EReq = 1300, 1400 až 1900 mbar a stále stejných otáčkách motoru. V každém kroku aplikujeme výše zmíněný postup.
- Zejména v nižších otáčkách motoru a tím pádem i turbodmychadla (cca do 2000 min^{-1}, záleží na velikosti turbodmychadla), není turbodmychadlo schopno vytvořit požadovaný tlak (P1EReq). V tom případě se nám nedaří naladit hodnotu **Intégrateur P2C Ctrl** na nulu, ale většinou se pohybuje až kolem 10 %. Pak vepíšeme do daného pole mapy **FeedForw_P2C…**hodnotu 100 % tj. požadavek na maximální plnící tlak – ventil WG regulace plně uzavřen.
- Po naladění P1EReq = 1900 mbar pokračujeme pro kontrolu postupným ubíráním zatížení (P1EReq) a kontrolujeme případně upravujeme velikost **Intégrateur P2C Ctrl** až do počáteční hodnoty P1EReq.
- Zvýšíme otáčky motoru na následující hodnotu dle mapy **FeedForw_P2C…** a provádíme mapování dalších kroků tak, až máme správné hodnoty pro všechny otáčky a zatížení motoru v černém rámečku na obr 4.2.3.1. Někdy stačí mapovat pouze do 5000 min^{-1} nebo nižších otáček motoru. Záleží na požadavcích uvedených v instrukcích testu.
- Při mapování P2C je vhodné poslouchat klepání, protože zejména ve vyšších zatíženích a otáčkách motoru se může objevit. Pak musí dojít k zásahu do velikosti úhlu zážehu viz. kapitola 2.3.3 bod 6, ještě před samotným mapováním **Ignitionu**.



Obr. 4.2.3.1 Mapování P2C.

Legenda

1. Mapa pro úpravu PWM signálu pro elektromagnetický ventil WG regulace.
2. Informační okno PID regulace P2C.
3. Okno osciloskopu, zobrazující hodnoty P1E a P2C v reálném čase.
4. Hodnota integrátoru PID regulace P2C.



Obr. 4.2.3.2 Matematický řádek z horní lišty programu.

Modře zobrazené hodnoty v mapách všeobecně znamenají „bezpečnou“ hodnotu (v případě P2C nízký tlak) a červeně „nebezpečnou“ hodnotu. Pokud ale nově vytvořené mapy, předělané z jiných, uložíme a poté znovu načteme, zobrazí se všechny hodnoty v černé barvě. Barevné zobrazení tedy podává spíše informaci, že došlo k nějaké změně a jakým směrem vzhledem k původní hodnotě.

4.2.5 Mapování Ignitionu – úhlu předstihu zážehu

Hlavní nástroj, který se používá pro dosažení požadované teploty výfukových plynů a maximálního kroutícího momentu motoru při Perfo testu, je předstih zážehu resp. úhel

zážehu. Úhel zážehu většinou nabývá kladných hodnot (k zážehu dochází před horní úvratí kompresního zdvihu), v extremních případech i hodnot záporných (k zážehu dochází až na začátku expanzního zdvihu). Platí, že čím větší kladný předstih zážehu, tím menší je teplota výfukových plynů. Malý nebo záporný předstih zážehu rovná se vysoké teplotě výfukových plynů. Pro hodnoty kroutícího momentu je situla opačná (velký předstih zážehu vysoký kroutící moment) viz. kapitola 2.2.

Při mapování předstihu zážehu ve složce **Ignition** a v mapě **carto avance de base** (obr. 4.2.5.1)se mění předstih zážehu v závislosti na zatížení motoru (v rozsahu 0 ÷ 200 %, z důvodu zjemnění regulace) a otáčkách motoru. Obr. 7.3 v příloze znázorňuje prostorové zobrazeni úhlu předstihu zážehu.

Mapování předstihu zážehu pro dosažení maximálního kroutícího momentu motoru

- Při mapování pro dosažení maximálního kroutícího momentu (Perfo test) nejprve zvolíme požadovanou hodnotu otáček motoru a maximální zatížení motoru.
- V mapě **carto avance de base** označíme pole odpovídající hodnotě zatížení a otáčkám motoru (tyto informace sledujeme v informačním okně s bílým pozadím). Jen v některých situacích bude hodnota zatížení v informačním okně odpovídat některé z hodnot zatížení v mapě **carto avance de base.** Většinou se nacházíme mezi dvěma hodnotami. Např. v informačním okně bude v poli Load hodnota cca168 %. Této hodnotě neodpovídá žádna v mapě **carto avance de base**, a proto si označíme pole pro zatížení 160 a 171,429 % řádku, který odpovídá příslušným otáčkám motoru.
- V matematickém řádku si zvolíme vhodný skok, který budeme přičítat k výchozí hodnotě. V případě zapalování je to 0.1° .
- Hodnoty předstihu zážehu v označených polích zvětšujeme za současného poslouchání klepaní (viz. kapitola 2.3.3 bod 6), až do té doby, kdy je slyšet občasné zaklepání. Poté snížíme hodnoty předstihu zážehu cca o 0.5 ° a provedeme dílčí měření z Perfo testu.
- Před začátkem mapování se musíme ujistit, zda hodnoty předstihu zážehu jsou bezpečné (zpravidla méně než 10 °), aby nedošlo k detonačnímu spalování již při rozběhu motoru na maximální zatížení.
- V informativním okně **Ign angle Cyl 1** můžeme sledovat okamžitou hodnotu úhlu předstihu zážehu.

carto avance de base

AvanceLoad default description []

carto avance de base [revs]

	23.810	30.476	34.286	45.714	57.143	68.571	80.000	91.429	102.857	114.286	125.714	137.143	148.571	160.000	171.429	200.000
500.00	40.00	40.00	22.00	23.00	20.00	13.00	6.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
750.00	40.00	40.00	23.00	24.00	20.00	11.00	6.00	5.00	1.00	1.00	-2.00	-3.00	-4.00	-5.00	-6.00	-8.50
1000.00	29.00	25.00	22.00	18.00	17.00	10.00	8.00	7.00	2.00	0.00	3.00	-1.00	-2.00	-3.00	-4.00	-6.50
1250.00	29.00	24.00	22.00	18.00	17.00	16.00	15.00	11.00	6.50	3.00	0.00	-0.40	-4.40	-5.40	0.60	-1.90
1500.00	32.00	27.00	23.00	16.00	15.00	13.00	7.50	7.50	6.50	5.00	5.00	0.00	-3.00	-3.40	-4.90	-3.00
1750.00	36.00	36.00	28.00	19.00	19.00	13.00	12.00	13.50	10.50	7.00	5.00	4.00	1.00	0.00	1.00	-1.00
2000.00	37.00	37.00	26.00	20.00	20.00	15.00	13.00	12.00	11.00	10.00	5.00	7.50	8.50	5.50	2.50	1.00
2500.00	37.00	37.00	35.00	20.00	20.00	13.00	15.00	13.00	11.00	10.00	7.00	8.50	7.50	7.00	6.50	4.00
3000.00	37.00	37.00	36.50	20.00	20.00	15.00	16.00	15.00	14.00	12.00	9.00	5.00	8.50	9.50	8.50	1.00
3500.00	37.00	37.00	36.50	35.00	25.00	18.00	16.00	15.00	12.00	11.00	10.00	6.00	10.00	14.00	8.50	1.00
4000.00	37.00	37.00	36.50	35.00	26.00	18.00	17.00	11.00	12.60	13.90	12.90	9.70	8.10	7.20	9.50	6.00
4500.00	37.00	37.00	36.50	35.00	24.00	18.00	17.00	17.00	16.00	13.00	11.00	17.50	16.50	13.00	6.00	-3.00
5000.00	37.00	37.00	36.50	35.00	24.00	17.00	17.00	17.00	16.00	21.50	21.50	20.00	7.00	6.00	2.00	-1.00
5500.00	37.00	37.00	36.50	35.00	24.00	17.00	17.00	17.00	15.00	22.00	22.00	15.50	7.00	6.00	3.00	1.00
6000.00	37.00	37.00	36.50	35.00	24.00	17.00	17.00	17.00	15.00	22.00	22.00	18.00	10.00	8.00	5.00	3.00
6500.00	37.00	37.00	35.50	35.00	24.00	17.00	17.00	17.00	15.00	13.00	13.00	13.00	13.00	7.00	5.00	3.00

Obr. 4.2.5.1 Regulace předstihu zážehu.

Mapování předstihu zážehu pro dosažení požadované T1T

Princip je totožný jako při mapování na maximální M_e. Pohybujeme se, ale v malých nebo záporných hodnotách předstihu zážehu. Riziko detonačního spalování je zde tedy minimální.

4.2.6 Mapování Lambda regulace

Pomocí lambda regulace neboli regulací bohatosti směsi můžeme také provádět korekci T1T, ale v omezeném rozsahu, tudíž menším než při mapování předstihu zážehu. Hodnoty pro regulaci lambda, T1T a předstih zážehu musí spolu korespondovat. Například velký předstih zážehu se neslučuje s požadavkem na vysokou T1T a příliš bohatou nebo příliš chudou směsí. Také není možné měnit jen hodnotu lambda bez zásahu do předstihu zážehu. Při snaze dosáhnout určitou T1T jen pomocí λ např. postupem do oblasti bohaté směsi může ECU spadnout do nouzového režimu. Protože λ se dostane do tzv. Rich mode. Pokud ECU vyhodnotí situaci jako nebezpečnou a spadne do nouzového režimu z důvodu Rich mode stačí pro uvedeni ECU do normálního stavu snížit zatížení motoru a sledovat hodnotu λ, až se vrátí do normálu dle mapy **Carto de lambda objectif** (obr. 4.2.6.1 a prostorové zobrazeni obr. 7.5).

Hodnoty lambda se vkládají do mapy **Carto de lambda objectif** obdobně jako v předešlých případech a opět v závislosti otáček motoru na zatížení motoru. Hodnoty $\lambda > 1$ spadají do oblasti chudé směsi a hodnoty $\lambda < 1$ do oblasti bohaté směsi.

Carto de lambda objectif

LambdaObjLoad default description []

Carto de lambda objectif [revs]	45.714	57.143	68.571	80.000	91.429	102.857	114.286	125.714	137.143	148.571	160.000	171.429	200.000
500.00	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850
750.00	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
1000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1250.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1750.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.930	0.930	0.920
2500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.890	0.860	0.810
3000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.890	0.860	0.780
3500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.970	0.870	0.790	0.750
4000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.950	0.920	0.885	0.842	0.786	0.821	0.740
4500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.800	0.900	0.860	0.800	0.800	0.764	0.750
5000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.800	0.960	0.850	0.810	0.815	0.758	0.743
5500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.900	0.850	0.810	0.811	0.752	0.737
6000.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.900	0.850	0.810	0.807	0.742	0.725
6500.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.900	0.840	0.830	0.730	0.720	0.710

Obr. 4.2.6.1 Mapa lambda regulace.

Aktuální hodnoty lambdy lze sledovat v informativním okně **Lambda** obr. 4.2.6.2. V prvním řádku je zobrazeno zda je lambda regulace aktivní, ve druhém hodnota z mapy **Carto de lambda objectif,** ve třetím hodnota lambdy, která by měla být pro požadavek na T1T. Lambda Obj zobrazuje aktuální hodnotu lambdy. Pokud jsou hodnoty ve druhém až čtvrtém řádku stejné (za chodu motoru), lze usuzovat, že je správně namapováno T1T.

Lambda

Lambda	1.00	-
LambdaMap	0.850	-
LambdaRegT1T	0.850	-
LambdaObj	0.850	-
LambdaCorr	1.000	-
VPrefixLambdaRaw	0.000	V

Obr. 4.2.6.2. Informativní okno lambda regulace.

5 Zhodnocení

Využití metodiky založené na tzv. otevřené řídící jednotce TAG 400 od firmy McLaren pro testování turbodmychadel zážehových motorů nabízí zejména variabilitu v podobě možnosti použití systému téměř na všech moderních zážehových motorech vybavených vstřikováním paliva a elektronickým zapalováním, ať v jednocívkovém uspořádání nebo ve skupinovém uspořádání zapalovacích cívek. Není tedy nutné používat jednotlivé systémy pro určité motory, ale jediný systém (řídící jednotka, rozhraní spojitosti, komunikační vedení a elektroinstalaci) pro více motorů-

Největší výhoda tohoto systému, ale spočívá právě v možnosti upravování map jednotlivých regulačních okruhů a tím splňovat požadavky na testování mnohem efektivněji než při používání sériových řídících jednotek, kdy se požadovaných hodnot dosahuje jen velmi obtížně. Systém s otevřenou řídící jednotkou je také, co se týče komponentů, mnohem jednoduší, protože některé subsystémy, které pro testování nejsou nutné nebo dokonce nežádoucí, se nepoužívají. Mezi tyto systémy patří zejména systémy zabezpečující redukci emisí výfukových plynů, např. EGR systém, systém sekundárního vzduchu a katalyzátory.

Systém, ale vyžaduje nároky na informace pro akční členy, moduly pro převody signálů, výchozí mapy apod. Nutností je také kvalifikovanost obsluhy zejména v etapách uvádění nového dříve nepoužívaného motoru do provozu nebo při diagnostice závad a samozřejmě také při vlastní tvorbě, resp. úpravě výchozích map. Postup tvorby map musí být dodržen přesně podle metodiky popsané v práci.

6 Závěr

Zvýšení celkové účinnosti motoru, které dosahujeme pomocí výfukového turbodmychadla, je největší výhodou přeplňovaného motoru oproti nepřeplňovanému. Současně ale využití výfukových plynů jakožto zdroje energie pro pohon turbodmychadla představuje jeden z potencionálních zdrojů poruch turbodmychadla. Výfukové plyny působí zejména na turbínovou část turbodmychadla, a to vysokou teplotou a chemickým složením. Vysoké teploty v kombinaci s nízkými (teplotní šoky) představují hrozbu vzniku trhlin a prasklin v turbínové části turbodmychadla a vytváření karbonových úsad v centrální částí, které znamenají nebezpečí pro ložiska a hřídel turbodmychadla. Co se týče chemického složení působí největší obtíže pevné částice, které se usazují ve VNT mechanizmu a omezují jeho pohyb. To se týká zejména vznětových motorů, u kterých je VNT technologie použita mnohem častěji než u benzínových motorů.

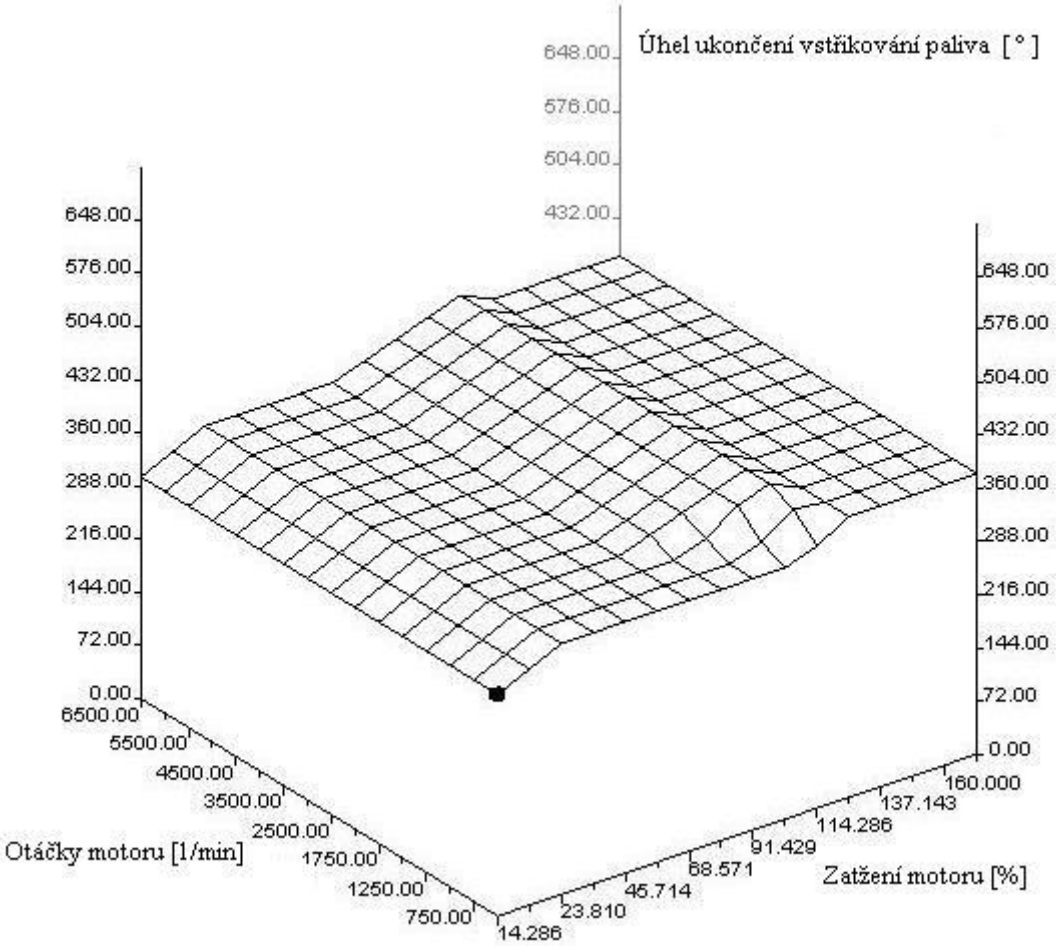
Aby bylo dosaženo odpovídající spolehlivosti takto složité součásti, jakým je turbodmychadlo zejména v kombinaci s VNT mechanismem, je nutné zajistit vhodnou konstrukci a materiály. A následně otestovat při velmi náročných testech. Při testech je kladen největší důraz na extrémní podmínky (vysoké teploty až 1070 °C na turbínových částech, vysoké tlaky, teplotní šoky, vysoká frekvence ovládání regulace turbodmychadla apod.), které při běžném provozu nemohou nastat. Jedině tak je zajištěna odpovídající životnost a trvanlivost turbodmychadla.

7 Použitá literatura

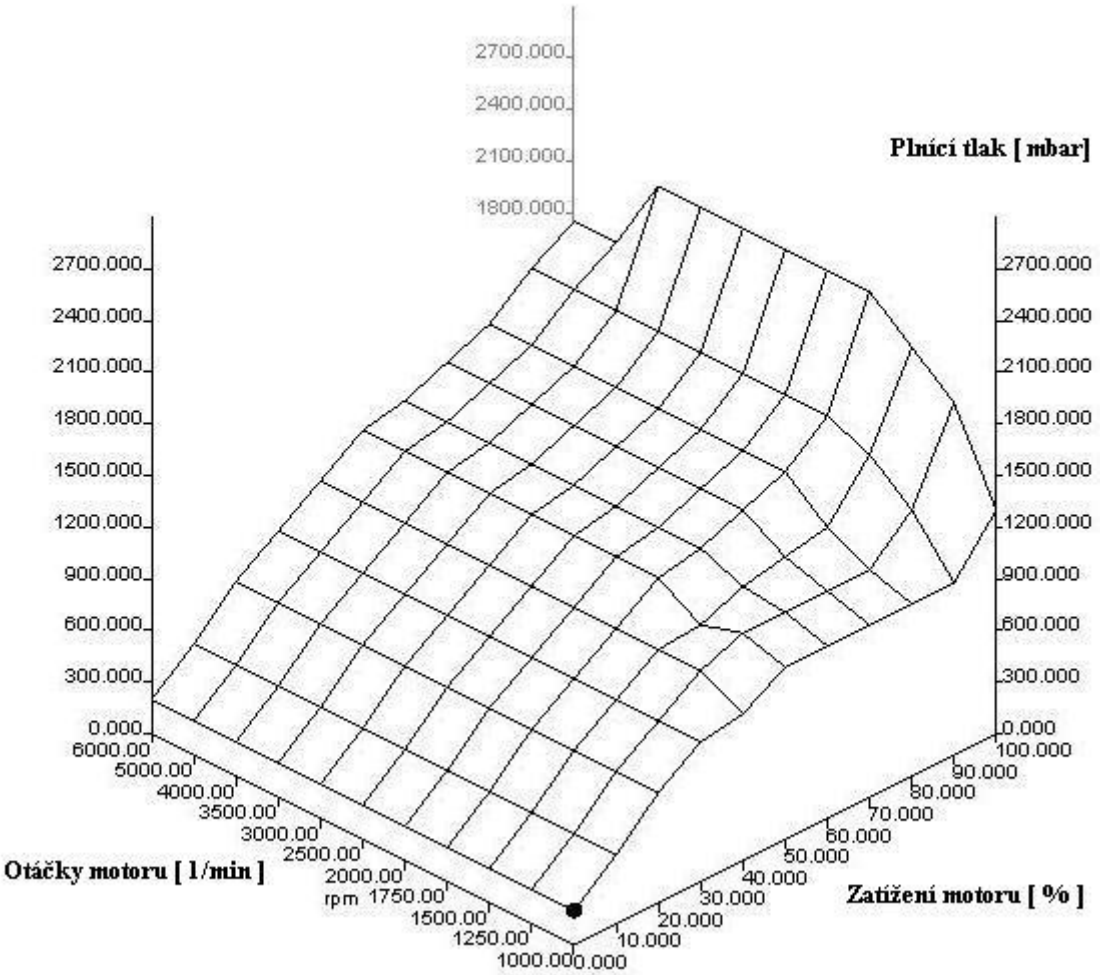
- ✓ Cikryt, Milan: *Osobní sdělení.* VOŠ, SPŠ a SOU Zábřeh, Zábřeh. [cit. 1999-02-23]
- ✓ FERENC, Bohumír. *Spalovací motory*, Computer Press, 2004, ISBN 80-251-0207-5
- ✓ VLK, František. *Automobilová elektronika3, Systémy řízení motoru a převodů.* Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc.nakladatelství a vydavatelství, 2006. 355 s. ISBN 80-239-7063-1.
- ✓ Garrett by Honeywell [online] cit. [2008-12-14] dostupné z WWW: http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/tech_center/why_garrett.html

8 Přílohy

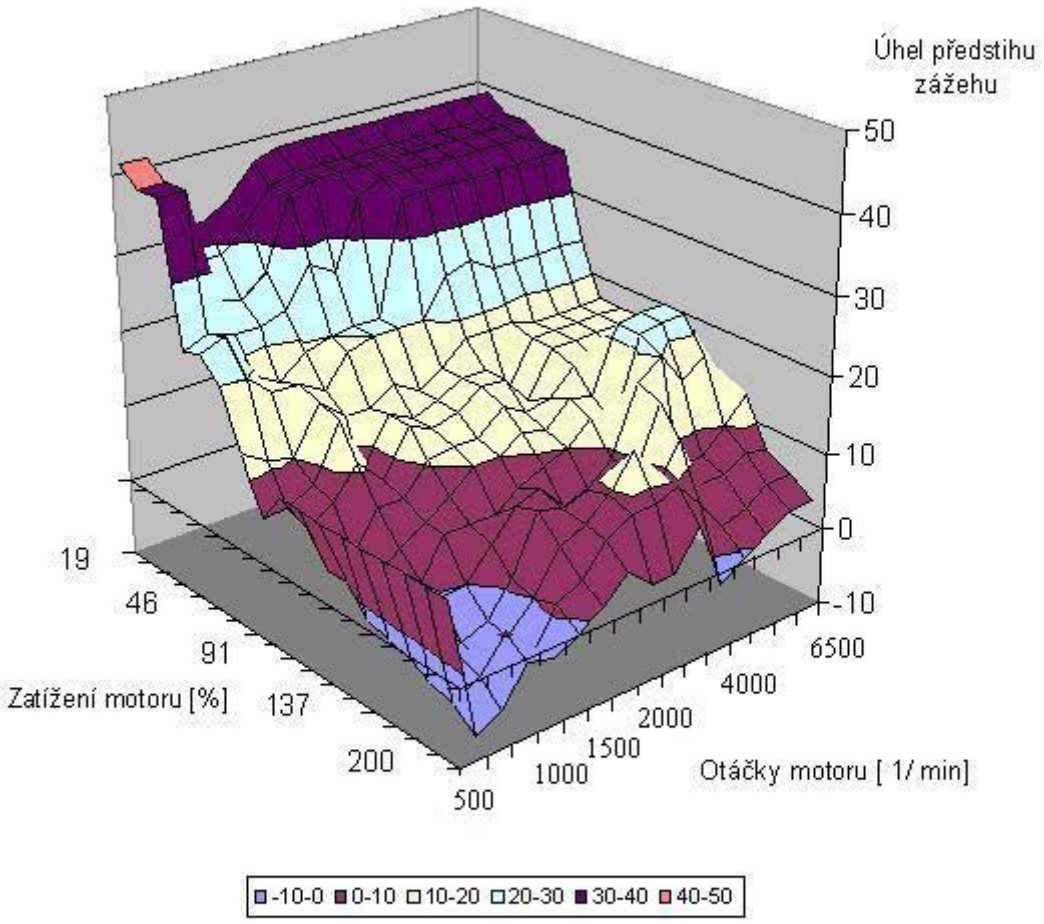
Zobrazení některých tříosých map v prostorovém uspořádání.



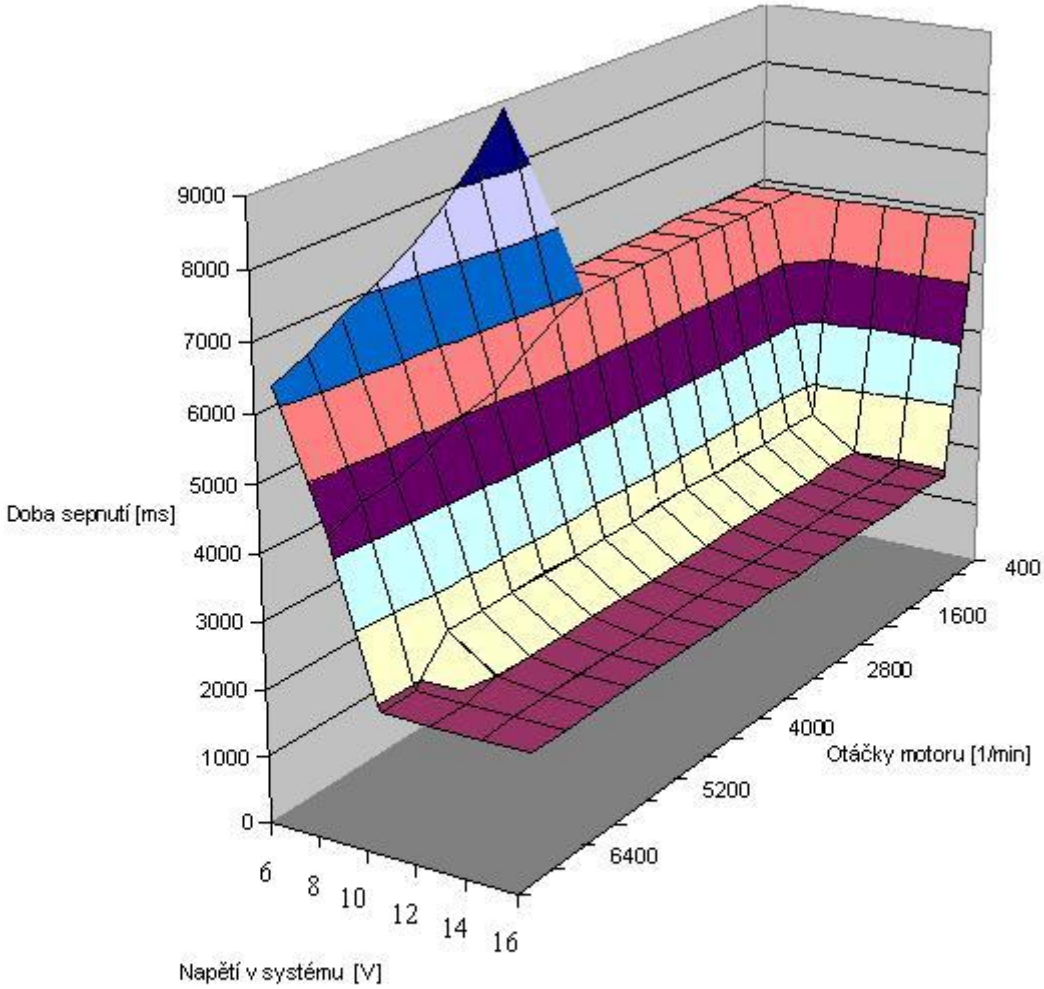
Obr. 7.1. Úhel otevření vstřikovacích ventilů v závislosti na otáčkách a zatížení motoru.



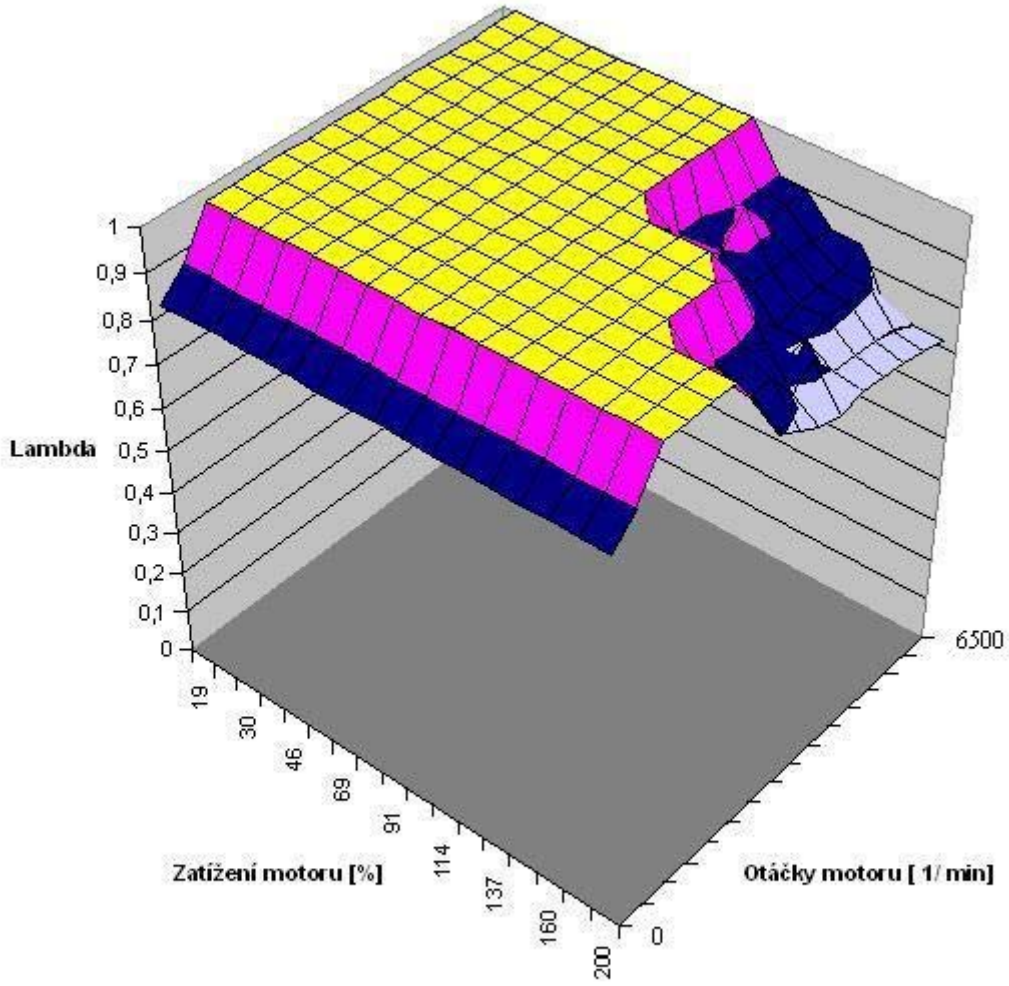
Obr. 7.2. Hodnoty plnícího tlaku (P1E) v závislosti na otáčkách a zatížení motoru ve 3D grafu.



Obr. 7.3. Úhel předstihu zážehu v závislosti na zatížení a otáčkách motoru.



Obr. 7.4. Doba sepnutí primárního okruhu zapalování v závislosti otáček motoru a napětí systému.



Obr. 7.5. Lambda (vzdušný součinitel) v závislosti na zatížení a otáčkách motoru.